ISBN 978-85-5953-029-2

Organizadores
Márcio M. Fabricio
Adriana C. Brito
Fúlvio Vittorino

Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras:

Conforto Ambiental, Durabilidade e Pós-Ocupação

antac
EDITORA SCIENZA

Márcio M. Fabricio
Adriana C. Brito
Fúlvio Vittorino

(organizadores)

Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: *Conforto Ambiental, Durabilidade e Pós-Ocupação*

antac
Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

2017

Copyright © 2017 – Todos os direitos reservados.

Distribuição gratuita, venda não autorizada.

Foto da Capa: Elza Miyasaka
Painéis de vedação do Pavilhão dos Emirados Árabes Unidos em argamassa armada

---

A945

Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: conforto ambiental, durabilidade e pós-ocupação [recurso eletrônico] / organizadores: Márcio Minto Fabricio, Adriana C. de Brito e Fúlvio Vittorino. – [Porto Alegre] : ANTAC, 2017.

1 livro eletrônico

398 p.

ISBN 978-85-5953-029-2

DOI – http://dx.doi.org/10.26626/978-85-5953-029-2.2017B0001

1. Desempenho. 2. Inovação Tecnológica. 3. SiNAT – Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Sistemas Inovadores e Convencionais. 4. Durabilidade. 5. Avaliação Ambiental. 6. Estruturas. I. Orgs. II. Título.

CDD 600

ANTAC
Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Revisão, editoração, livro eletrônico e impressão:

EDITORA SCIENZA

Rua Juca Sabino, 21 – São Carlos – SP
(16) 3364-3346 | (16) 9 9285-3689
www.editorascienza.com.br
gustavo@editorascienza.com

Agradecimentos

À FINEP: Inovação e Pesquisa, pelo suporte à rede de pesquisa *Desenvolvimento de métodos e metodologias para avaliação de desempenho de tecnologias inovadoras no âmbito do Sistema Nacional de Avaliação Técnica – INOVATEC/FINEP* e pelo apoio financeiro dado à publicação deste livro.

Autores e Colaboradores

Adriana Camargo de Brito

Graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Paulista – UNIP (2001), mestrado na área de Tecnologia de Edifícios, com ênfase no Desempenho Térmico, pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT (2006), doutora na área de Eficiência Energética de Edifícios pelo Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de São Paulo (2015). Possui especialização em Conforto Ambiental e Conservação de Energia pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (2003). Atualmente é docente e pesquisadora do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

Ana Paula Maran

Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI (2012), mestrado em Engenharia Civil com ênfase em Materiais (2015) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, atualmente é doutoranda em Engenharia Civil também na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Bruno Carlos de Santis

Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – FZEA/USP (2016), mestre em Arquitetura e Urbanismo pelo Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos – IAU – USP (2012), Engenheiro Civil graduado pela Universidade Federal de São Carlos – UFSCar (2009). Atua na área de construção civil, com ênfase em Concretos Especiais, Microestrutura do Concreto, Uso de Subprodutos Agroindustriais em Componentes Destinados à Construção Civil.

César Imai

Professor Associado da Universidade Estadual de Londrina no curso de Arquitetura e Urbanismo e no Programa de Pós-Graduação em Metodologia de Projeto em Arquitetura e Urbanismo. Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Estadual de Londrina (1992), mestrado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (2001) e doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (2007). Líder do Grupo de pesquisa ARQ3 – Processo, Projeto e Comunicação na Arquitetura, atuando principalmente com os seguintes temas: Habitação de Interesse Social, Projeto Participativo, Metodologia de projeto, Avaliação Pós-Ocupação, Maquetes, Protótipos e Modelos Tridimensionais.

Claudio Vicente Mitidieri Filho

Graduação em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (1980), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (1988) e

doutorado em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (1998). Atualmente é pesquisador sênior do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, especialista em Sistemas Construtivos e Desempenho de Edificações Habitacionais e docente do programa de Mestrado em Habitação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. É membro do Conselho Técnico Administrativo da Revista Téchne, da Editora Pini e membro do Comitê Técnico do SiNAT, Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Sistemas Inovadores e Convencionais, vinculado ao PBQP-H.

Cristina Kanaciro

Possui graduação em Tecnologia de Construção Civil Modalidade Edifício pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1989). É Assistente de Pesquisa do Laboratório de Componentes e Sistemas Construtivos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

Cristina Yukari Kawakita Ikeda

Graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (2001), mestrado pelo Departamento de Construção Civil e Urbana da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2008) e doutorado pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (início em 2014). Pesquisadora do laboratório de conforto ambiental e sustentabilidade dos edifícios (LCA) no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

Denise Carpena Coitinho Dal Molin

Graduação e mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo. É professora titular da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Construção Civil. É consultora da CAPES e do CNPq. Realizou diversos trabalhos em parceria com a iniciativa pública e privada, transferindo para o meio os avanços produzidos na Universidade e trazendo recursos para financiar bolsas de alunos de iniciação científica, mestrado e doutorado, bem como para melhoria da infraestrutura da graduação e pós-graduação.

Elisa Morandé Sales

Possui bacharelado em Física com habilitação em pesquisa básica pela Universidade de São Paulo (2009), mestrado em Física pela Universidade de São Paulo (2012) e doutorado em Física em andamento pela mesma instituição. Desde 2012, é Pesquisadora do Laboratório de Conforto Ambiental do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo com atuação em consultorias e avaliações do desempenho térmico e acústico de edifícios e componentes construtivos, mapeamento de ruído e simulações computacionais.

Fabiana Lopes de Oliveira

Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Maranhão (1993), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (1996), doutorado em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (2001), pós-doutorado pela Universidade de São Paulo (2003). Atualmente é professora doutora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

Fúlvio Vittorino

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (1988), graduação em Tecnologia de Processamento de Dados pelo Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (1987), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (1994) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (2001). Atualmente é professor regular de cursos de especialização da Universidade de São Paulo; é pesquisador e Diretor do Centro Tecnológico do Ambiente Construído no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Desempenho Térmico, atuando principalmente nos seguintes temas: desempenho térmico de edificações, conforto térmico, sistema construtivo, avaliação de desempenho e simulação computacional de desempenho.

Holmer Savastano Junior

Engenheiro civil, professor da Universidade de São Paulo (FZEA/USP) e coordenador do Núcleo de Apoio à Pesquisa em Materiais para Biossistemas da USP (NAP, BioSMat, USP). Atua em área de pesquisa relacionada a materiais e técnicas não convencionais para aplicações em construção e infraestrutura.

João Adriano Rossignolo

Professor Associado-2 do curso de Engenharia de Biossistemas da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos de Pirassununga (FZEA-USP). Livre-docente em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia (EESC-USP 2009), doutor em Ciência e Engenharia de Materiais (EESC/IFSC/IQSC-USP 2003, com sanduíche no LNEC-Lisboa), mestre em Arquitetura e Urbanismo (EESC-USP 1999) e engenheiro civil (EESC-USP 1993). Autor do livro *Concreto Leve Estrutural: Produção propriedades microestrutura e aplicações* (Editora PINI), possui mais de 100 trabalhos publicados em livros, periódicos e anais de congressos. Atua como revisor de diversos periódicos internacionais. Está credenciando como orientador de mestrado e doutorado dos Programas de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia (IAUUSP) e Engenharia e Ciência de Materiais (FZEA-USP). Atua na área de construção civil, com ênfase em Concretos Especiais, Microestrutura do Concreto, Uso de Subprodutos Agroindustriais em Componentes Destinados à Construção Civil, Avaliação de Desempenho Ambiental de Edificações, Sustentabilidade e Análise Ciclo de Vida (ACV) na Construção Civil.

João Heitzmann Fontenelle

Graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, mestrado em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Atualmente é pesquisador junto ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, na avaliação de sistemas inovadores e no desenvolvimento de ensaios de durabilidade de componentes construtivos. Atuou na Itália como designer de componentes construtivos, tendo colocado em produção projeto patenteado durante a graduação.

João Ricardo Masuero

Possui graduação (1988), mestrado (1992) e doutorado (2009) em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Atualmente é professor adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Mecânica das Estruturas, atuando principalmente nos seguintes temas: mecânica estrutural, ensino de engenharia, computação de alto desempenho aplicada à mecânica estrutural e à dinâmica dos fluídos computacional e estruturas de concreto.

Juliano Fiorelli

Engenheiro civil e professor na Universidade de São Paulo (FZEA/USP). Desenvolve pesquisa na área de Materiais Não Convencionais, com ênfase em painéis de partículas de subprodutos agroindustriais para aplicação em construções urbanas e rurais.

Khosrow Ghavami

Professor emérito desde junho 2013 e titular da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) desde 1978. Pesquisador sênior (FAPESP) da USP-Pirassununga (2014-2015). Possui pós-doutorado pela Concordia University (1986-87). O Ph.D. (doutorado) e DIC foi realizado em Engenharia Estrutural e pós-graduação (DIC) em Engenharia Sísmica no Imperial College of Science and Technologie – University of London. Mestrado (1970-1978) e graduação em Engenharia Civil na Universidade Drudjbi Narodov – Moscou – Rússia (1963-1968). Criou no Brasil a Associação Brasileira de Materiais e Tecnologias Não Convencionais (1996). É Presidente do Congresso Internacional NOCMAT desde 1984. Consultor do Instituto de 2iE em Burkina Faso-África. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Engenharia Estrutural. Atua principalmente nos seguintes temas: bambu, análise experimental, materiais e tecnologias não convencionais, elementos estruturais, compósitos, fibras e análise estrutural, análise teórico e experimental de Placas e Cascas. Iniciou as primeiras pesquisas sobre bambu e fibras vegetais na Engenharia em 1979 no Brasil. Member of the international committee of ISO Bamboo Norm beside being the founding member of INBAR.

Lucas Melchiori Pereira

Graduado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Estadual de Londrina (2007). Realizou pós-graduação lato sensu em Gestão de Obras de Edificações, pela Instituição de ensino superior SENAI-SC. Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento (ENGES) do Departamento de Construção Civil, Centro de Tecnologia e Urbanismo (CTU), Universidade Estadual de Londrina (UEL). Atualmente é doutorando no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

Luciana Alves Oliveira

Formada em Engenharia Civil pelo Centro Universitário da FEI (1996). Mestre em Engenharia de Construção Civil pela EPUSP (2002). Estágio de doutorado no exterior na Université de Technologie de Compiègne – UTC, França (2007). Doutora em Engenharia de Construção Civil pela EPUSP (2009). Pesquisadora visitante na divisão de desenvolvimento sustentável do CSTB-Grenoble-França (2012). Pesquisadora no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT (desde 2002). Coordenadora da disciplina de Vedação Verticais do docente do Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Atua principalmente nas áreas de Processos Construtivos, Fachadas Pré-Fabricadas, Diagnóstico de Patologias, Avaliação de Desempenho de Sistemas Construtivos, Implementação da Qualidade, Gestão do Processo de Projeto, Reabilitação e Renovação de Edifícios, Sustentabilidade e Durabilidade das Construções.

Luis Eustáquio Moreira

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (1981), mestrado em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1991), doutorado em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1998) e pós-doutorado pelo Departamento de Artes e Design da PUC-Rio, 2007. Atualmente é professor Associado II da Universidade Federal de Minas Gerais, onde atua desde 1993. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Mecânica das Estruturas de Bambu e Materiais Conjugados Não Metálicos, atuando principalmente nos seguintes temas: bambu, fibras naturais, estruturas tensionadas, testes mecânicos e design de produto. Orientou diversas monografias de final de curso e iniciações científicas, orienta atualmente 1 mestrado, 1 doutorado e é co-orientador de 1 doutorado. Bolsista de desenvolvimento tecnológico do CNPq de 2009 a 2011. Participou de vários eventos em congressos internacionais, com apresentação oral de trabalhos, sendo os mais recentes: – XII NOCMAT no Cairo (Egito – 2010), XIII NOCMAT (China – 2011); IV Simposium Interamericano de Tensoestruturas em Montevidéu (Uruguai-2011), XIV NOCMAT 2013 (Paraíba, João Pessoa).

Tem duas cartas patentes de invenção de conexões de estruturas de bambu e registrou em 2010, dois novos pedidos de patente. Fez parte da primeira Missão China, relativa ao acordo de cooperação entre os Ministérios de Ciência e Tecnologia Brasil-China, sobre troca de tecnologias relacionadas ao Bambu, com visita a indústrias e centros de pesquisa de seis diferentes cidades chinesas (2012). Publicou em 2014 o livro *Jogo das Formas – Lógica do Objeto Natural*, ISBN 9788581280066. Dispõe de quatro artigos publicados recentemente na revista *Key Enginering Materials* (on-line). Participou de 05 a 07 de março de 2014 do I Congresso Luso Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, em Guimarães, Portugal, onde publicou cinco artigos com duas apresentações orais. Tem sido parte do comitê científico dos congressos NOCMAT (Congresso Internacional Non conventional Materials and technologies).

Marcelo de Mello Aquilino

Físico formado pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – PUC-SP, com mestrado na área de Tecnologia na Construção de Edifícios e Campos Eletromagnéticos, pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT. Atualmente pesquisador do IPT vinculado ao Laboratório de Conforto Ambiental. Especialista na área de Conforto Ambiental com ênfase em Acústica e Térmica. Especialista em simulações de desempenho acústico, térmico e energético. Professor do curso de mestrado do IPT. Doutorando da Faculdade de Saúde Pública da USP na área de Epidemiologia e Acústica.

Márcio Minto Fabricio

Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de São Carlos (1993), mestrado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (1996), doutorado em Engenharia pela Universidade de São Paulo (2002), livre-docência em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia pela Universidade de São Paulo (2008). Atualmente é professor do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Bolsista Produtividade em Pesquisa pelo CNPq- Nível 2.

Maria Akutsu

Possui bacharelado em Física pela Universidade de São Paulo (1974) e licenciatura em Física pela Universidade de São Paulo (1975), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (1978) e doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (1993). Atualmente é consultora *ad hoc* da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) e pesquisadora e coordenadora do Programa de Mestrado Profissional em Habitação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Construção Civil, atuando principalmente nos seguintes temas: desempenho térmico, conforto térmico, conjunto habitacional, sistema construtivo e habitação.

Maria Fernanda Fávero Menna Barreto

Mestrado em Engenharia Civil com ênfase em Construção (gerenciamento, planejamento, patologias, materiais, sustentabilidade), pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Mena Cristina Marcolino Mendes

Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Mestrado em Engenharia Urbana pela Universidade Estadual de Maringá (UEM) e Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (IAU-USP). Professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá, área de Construção Civil. Atua em pesquisas com enfoques em habitação de interesse social, processos e sistemas construtivos e Avaliação Pós-Ocupação. E-mail: mcmmendes@uem.br

Miguel Antonio Buzzar

Graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (1980), mestrado em Estruturas Ambientais Urbanas pela Universidade de São Paulo (1996) e doutorado em Estruturas Ambientais Urbanas pela Universidade de São Paulo (2002). Atualmente é professor associado e diretor do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Bolsista Produtividade em Pesquisa pelo CNPq- Nível 2.

Normando Perazzo Barbosa

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (1975), fez mestrado em Engenharia Civil na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1978), doutorado em Mecânica Aplicada às Estruturas – Université Pierre et Marie Curie, Paris (1983), especialização em Concreto Armado no Instituto Politecnico di Milano (1979). Atualmente é Professor Titular da Universidade Federal da Paraíba, membro da Academia Paraibana de Engenharia. Desenvolve pesquisas sobre materiais de construção convencionais e não convencionais (terra crua, bambu, fibras vegetais, resíduos) e na área de Estruturas. Atual coordenador da Rede Brasileira do Bambu, coordenador do comitê de estudos da ABNT "Estruturas de Bambu", organizou texto da proposta de norma sobre projeto de estruturas e ensaios de caracterização física e mecânica do bambu. Participou do comitê de estudos da ABNT "Construções com Terra", sendo um dos responsáveis pela elaboração do texto da norma "Alvenarias de adobe". Tem duas patentes obtidas a partir de trabalhos alunos de pós-graduação. Responsável por programa de substituição de mais de trinta sub-habitações em favela por casas com a tecnologia dos tijolos prensados de terra crua. Agraciado em agosto de 2017 com a Medalha do Mérito do Sistema CREA/CONFEA.

Peter Joseph Barry

Possui graduação em B.Sc. – Physics pela Victoria University Of Wellington (1964), especialização em B.Sc. (Hons) – Physics pela Victoria University of

Wellington (1965) e especialização em Certified Quality Engineer – CQE pela American Society For Quality (1991). Foi pesquisador sênior do Laboratório de Conforto Ambiental do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, atuando na área de Acústica. É docente do Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Áreas Clássicas de Fenomenologia e suas Aplicações.

Rebeca Bayeh

Graduação em Física pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo, atualmente é mestranda em Física pelo mesmo Instituto, trabalhando com pesquisa nas propriedades acústicas da membrana basilar pelo mesmo instituto. Trabalhou como pesquisadora autônoma em acústica aplicada junto ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Tem experiência com Física de Materiais (vidros com propriedades médicas) e Psicofísica (rastreamento de olhar e atenção visual).

Rosaria Ono

Graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade e São Paulo (1987), mestrado em Engenharia pela Nagoya University (1991) e doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (1997). Atualmente é professora titular do Departamento de Tecnologia da Arquitetura da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Bolsista Produtividade em Pesquisa pelo CNPq- Nível 2.

Sheila Walbe Ornstein

Arquiteta e Urbanista, professora titular da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo e bolsista produtividade do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Atua na área de Tecnologia da Construção e é especialista em Avaliação Pós-Ocupação do Ambiente Construído. É co-organizadora do livro *Qualidade Ambiental na Habitação. Avaliação Pós-Ocupação*, prêmio ANPARQ 2014. E-mail: sheilawo@usp.br

Apresentação da ANTAC Gestão 2017-2018

Fundada em 1987, a ANTAC (Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído) é uma associação técnico-científica de caráter multidisciplinar que reúne pesquisadores e técnicos envolvidos com a produção e transferência de conhecimentos na área de tecnologia do ambiente construído. Essa área integra profissionais das mais diversas especialidades, tais como engenheiros, arquitetos, físicos, químicos e sociólogos, que atuam em Construção Civil, Tecnologia de Arquitetura e Habitação. Embora constituída majoritariamente por pesquisadores e docentes vinculados a universidades e institutos de pesquisa, a Associação conta também com inúmeros associados ligados a órgãos públicos e empresas privadas.

Para acompanhar e contribuir com o desenvolvimento científico e tecnológico da construção civil, a ANTAC congrega seus associados em grupos de trabalho (GTs), que organizam discussões mais aprofundadas e específicas de cada área. Seus membros promovem publicações e participam de workshops, encontros, projetos e revisões de normas.

A ANTAC executa atividades como: a publicação da Revista Ambiente Construído, integrada à biblioteca eletrônica de periódicos científicos Scielo; a participação em fóruns de discussão sobre o tema da Ciência, Tecnologia & Inovação (C,T&I) no Ambiente Construído nas instâncias governamentais e junto às entidades ligadas aos agentes privados da cadeia produtiva; a interação com as agências de fomento à pesquisa em tecnologia do ambiente construído; a promoção de eventos científicos direcionados à comunidade de C,T&I com impacto na atividade de construção civil; e finalmente o desenvolvimento de ações de modernização e difusão de conhecimentos junto ao setor de construção civil, em particular por meio da realização de eventos e edição de livros. Os volumes que compõem a Coleção ANTAC são uma iniciativa da associação no âmbito da edição de livros que promovam uma compilação das contribuições científicas de Redes Cooperativas de Pesquisa coordenadas e/ou com a participação de pesquisadores associados, assim como a edição de livros de conteúdos acadêmicos desenvolvidos por pesquisadores ativos nos grupos de trabalho da ANTAC na área de tecnologia do ambiente construído. O livro em questão – *Coleção ANTAC: Rede Cooperativa de Pesquisa INOVATEC/Finep* – trata do terceiro volume de apresentação dos resultados de pesquisa da Rede Cooperativa, que aborda o desempenho e a avaliação de desempenho em sistemas construtivos inovadores no Âmbito do SiNAT – Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Sistemas Inovadores e Convencionais.

ANTAC Gestão 2017-2018

José de Paula Barros Neto – UFC
Presidente ANTAC

Paulo Roberto Pereira Andery – UFMG
Vice-Presidente ANTAC

Eduardo Luis Isatto – UFRGS
Diretor Financeiro ANTAC

Roberta Vieira Gonçalves de Souza – UFMG
Diretor Administrativo ANTAC

Silvio Burratino Melhado – USP
Diretor de Relações Inter-institucionais ANTAC

Mônica Batista Leite – UEFS
Diretora de Divulgação ANTAC

Prefácio

Luis Carlos Bonin

Esta publicação apresenta resultados obtidos pela rede de pesquisa INOVATEC que envolveu a participação de dez instituições tecnológicas brasileiras selecionadas na Chamada Pública MCT/MCidades/Finep/Ação Transversal Saneamento Ambiental e Habitação 07/2009, Área Habitação, com o Tema Prioritário de desenvolvimento de métodos de ensaio e metodologias para avaliação de desempenho de tecnologias inovadoras no âmbito do Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Sistemas Inovadores e Convencionais – SINAT, com ênfase em durabilidade, vida útil e custos ao longo do ciclo de vida no segmento da habitação de interesse social, bem como em estudos para identificação de gargalos e recomendação de aperfeiçoamento de normas técnicas de avaliação de desempenho de edifícios habitacionais.

Na estruturação da rede o Tema Prioritário foi desdobrado em cinco subprojetos, envolvendo a definição de critérios e métodos para a avaliação da durabilidade, do desempenho ambiental, do desempenho estrutural, da manutenibilidade e da percepção dos usuários sobre sistemas construtivos inovadores.

Embora o compromisso contratual assumido pelas instituições participantes da rede envolva antes a elaboração de extenso e detalhado relatório técnico mostrando o cumprimento das metas físicas pactuadas, a rede INOVATEC decidiu produzir e publicar coleções de artigos técnicos inéditos abordando temas específicos selecionados de modo a melhor divulgar o conhecimento produzido.

Mantendo o título geral Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras, foram publicadas três coleções de artigos, cada uma organizada a partir de um tema específico: a primeira, publicada em 2015, incluiu artigos relacionados com Manutenção e Percepção dos Usuários; a segunda, publicada em 2016, contém artigos relativos a Materiais e Sustentabilidade; a terceira, finalmente, publicada agora em 2017, reúne artigos referentes ao Conforto Ambiental, Durabilidade e Pós-Ocupação. A programação dessas publicações foi definida, de certa forma, pela conclusão das atividades dos subprojetos da rede.

Analisar a coleção de artigos selecionados dá apenas uma limitada ideia dos resultados da rede INOVATEC. É preciso ter em conta que na seleção muitos temas foram preteridos pelos seus autores ou pelos editores da coleção. Alguns deles foram publicados em outro espaço de divulgação tecnológica, outros estarão detalhados apenas no relatório técnico da rede.

É preciso lembrar, ainda, que os resultados de uma rede de pesquisas como a INOVATEC, que envolveu muitos pesquisadores por um longo período de tempo, não se restringem a publicações e incluem, principalmente, todo um aprendizado que permanece com os pesquisadores e certamente vai impulsionar atividades futuras, seja no âmbito acadêmico, com o aprofundamento de conteúdos ainda não completamente dominados, seja no âmbito tecnológico, por meio da incorporação de conteúdos gerados nas atividades da rede na revisão de normas técnicas ou nos procedimentos de avaliação de sistemas construtivos inovadores.

Novamente cabe destacar que não existia nas atividades da rede INOVATEC a pretensão de preencher todas as lacunas de conhecimento propostas no Tema Prioritário da Chamada Pública, mas sim contribuir topicamente no avanço do domínio tecnológico. Aliás, mais importante que concluir o estudo sobre um tema, por considerá-lo já dominado, é descobrir novos temas para estudar.

Sumário

Capítulo 1

Introdução **21**

Márcio Minto Fabricio, Adriana Camargo de Brito, Fúlvio Vittorino

Capítulo 2

Necessidade de Revisão dos Métodos de Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações no Âmbito da Norma NBR 15575 e do SiNAT **27**

Adriana Camargo de Brito, Elisa Morandé Sales, Fúlvio Vittorino, Marcelo de Mello Aquilino, Maria Akutsu

Capítulo 3

Proposta de Procedimentos para Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações (NBR 15575 e SiNAT) – Método Simplificado **47**

Adriana Camargo de Brito, Elisa Morandé Sales, Fúlvio Vittorino, Marcelo de Mello Aquilino, Maria Akutsu

Capítulo 4

Proposta de Procedimentos para Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações (NBR 15575 e SiNAT) – Método Detalhado **65**

Adriana Camargo de Brito, Elisa Morandé Sales, Fúlvio Vittorino, Marcelo de Mello Aquilino, Maria Akutsu

Capítulo 5

Determinação da Isolação Sonora de Fachadas em Andares Altos de Edificações **99**

Rebeca Bayeh, Fúlvio Vittorino, Adriana Camargo de Brito, Marcelo de Mello Aquilino, Maria Akutsu, Cristina Yukari Kawakita Ikeda, Peter Joseph Barry

Capítulo 6

Proposta de Aprimoramento do Ensaio de Ação de Calor e Choque Térmico na NBR 15575..... 127

João Heitzmann Fontenelle, Claudio Vicente Mitidieri Filho, Adriana Camargo de Brito, Cristina Kanaciro, Luciana Alves Oliveira, Fúlvio Vittorino

Capítulo 7

Sistemas Construtivos Inovadores no Contexto do SiNAT: Normativas, Produção e Aplicações de Painéis de Vedação 169

Mena Cristina Marcolino Mendes, Márcio Minto Fabricio, César Imai

Capítulo 8

Avaliação de Habitações em Sistemas Construtivos Inovadores: Apresentação de Metodologia e Resultados da Análise de Documentação..... 195

Mena Cristina Marcolino Mendes, Fabiana Lopes Oliveira, Rosaria Ono, Sheila Walbe Ornstein, Márcio Minto Fabricio

Capítulo 9

Avaliação de Desempenho em Uso e Manutenção de Habitações em Sistemas Construtivos Inovadores..... 217

Rosaria Ono, Mena Cristina Marcolino Mendes, Márcio Minto Fabricio, Sheila Walbe Ornstein, Fabiana Lopes de Oliveira, Lucas Melchiori Pereira

Capítulo 10

Percepção dos Usuários e Avaliação de Desempenho em Uso de Habitações em Sistemas Construtivos Inovadores 259

Rosaria Ono, Mena Cristina Marcolino Mendes, Lucas Melchiori Pereira, Sheila Walbe Ornstein, Márcio Minto Fabricio, Fúlvio Vittorino

Capítulo 11

Avaliação Pós-Ocupação em Sistemas Construtivos Inovadores: Considerações Finais 293

Sheila Walbe Ornstein, Márcio Minto Fabricio, Rosaria Ono, Fabiana Lopes de Oliveira, Mena Cristina Marcolino Mendes, Lucas Melchiori Pereira, Miguel Antonio Buzzar

Capítulo 12

Bambu como Material de Engenharia 305

Khosrow Ghavami, Normando Perazzo Barbosa, Luis Eustáquio Moreira

Capítulo 13

Avaliação da Durabilidade de Concretos Estruturais com Agregados Leves Inovadores Utilizando a Carbonatação Acelerada 349

Bruno Carlos de Santis, Juliano Fioreli, Holmer Savastano Junior, João Adriano Rossignolo

Capítulo 14

Proposição de Requisitos, Critérios e Métodos de Avaliação de Desempenho de Espaçadores Utilizados em Estrutura de Concreto Armado 371

Denise Carpena Coitinho Dal Molin, João Ricardo Masuero, Maria Fernanda Fávero Menna Barreto, Ana Paula Maran

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-5953-029-2.2017C0001.p.21-26

1 Introdução

Márcio Minto Fabricio
Adriana Camargo de Brito
Fúlvio Vittorino

Desde o final da década de 80, o desempenho de materiais, componentes e sistemas construtivos vem sendo abordado por diversos grupos de pesquisadores, com o apoio do extinto Banco Nacional da Habitação – BNH e da Caixa Econômica Federal – CEF. Nesse contexto, com base na experiência prática do grupo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT em avaliação de empreendimentos, dentre outros pesquisadores e agentes do setor de construção, foi elaborada a primeira versão dos critérios de desempenho de edifícios habitacionais, revisados e atualizados em 1995, com o apoio da Financiadora de Estudos e Projetos – Finep.

Como produto da revisão, foi publicado o manual *Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social*, documento utilizado como base para a comissão de estudos do CB 02 da ABNT, que elaborou a primeira versão da norma brasileira de desempenho para edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, NBR 15575, aprovada em 2008, que entrou em vigor a partir de 2013, intitulada NBR 15575 – "Edificações habitacionais – Desempenho".

É oportuno o momento em que essa norma entra em vigor, visto que nos últimos anos há um contexto favorável à produção de empreendimentos habitacionais, principalmente os de até cinco pavimentos, voltados à população de baixa renda, com emprego de sistemas construtivos inovadores. Muitos desses sistemas visam a uma extrema racionalização construtiva para proporcionar uma produção mais rápida, focada na diminuição de custos de execução, situação que requer cuidados para assegurar um desempenho adequado dos edifícios. Tais preocupações remontam à década de 70, quando um incremento significativo na produção da construção civil, aliado à

inovação de vários sistemas construtivos na época, provocou uma série de problemas quanto à durabilidade e segurança das edificações.

Nesse sentido, o Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Sistemas Inovadores e Convencionais – SiNAT vem exigindo dos produtores que sistemas construtivos inovadores sejam submetidos a avaliações de desempenho. Tais avaliações são efetuadas com base em "Diretrizes SiNAT", que consistem em um documento de referência para a análise de sistemas específicos, cujos critérios fundamentam-se principalmente na Norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

A referida norma possui exigências globais quanto à segurança estrutural, segurança ao fogo, estanqueidade, desempenho térmico, acústico e lumínico, dentre outros fatores. Os documentos de avaliação técnica gerados no âmbito do SiNAT, quando demonstram a adequação do sistema construtivo, são utilizados por órgãos governamentais e financiadores na aprovação de empreendimentos e financiamentos. Dessa forma, o SiNAT está incentivando a difusão da Norma NBR 15575 entre os produtores, profissionais e órgãos governamentais ligados ao setor de edificações, ação que constitui um fator positivo no contexto da qualidade dos edifícios, pois indica uma mudança dos meios de concepção de empreendimentos, incorporando o conceito de desempenho.

Entretanto, na aplicação intensa da norma NBR 15575, identificou-se a necessidade de aprimorar parte de seus critérios e métodos, para que se tornem mais precisos e confiáveis. Nesse sentido, a FINEP – Inovação e Pesquisa financiou o projeto da rede de pesquisa intitulado "Desenvolvimento de métodos e metodologias para avaliação de desempenho de tecnologias inovadoras no âmbito do Sistema Nacional de Avaliação Técnica – INOVATEC – FINEP", implementada em 2011 com a missão de desenvolver e aprimorar critérios de desempenho e novos métodos de avaliação relativos ao uso, à durabilidade, à vida útil e à sustentabilidade de edifícios, especialmente os construídos com sistemas construtivos inovadores. Assim, a rede operou com duplo propósito: sugerir aperfeiçoamentos à utilização da norma NBR 15575: Edifícios Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013) e contribuir com métodos de avaliação de materiais e sistemas construtivos, a fim de subsidiar o desenvolvimento de novas diretrizes de avaliação do SiNAT – Sistema Nacional de Aprovação Técnica de Sistemas Inovadores e Convencionais. Especial atenção foi dada ao desenvolvimento

de métodos de avaliação que permitissem considerar os impactos de uso e de manutenção de tecnologias inovadoras junto à população atendida por programas habitacionais, como o Minha Casa, Minha Vida.

A rede foi composta pelas seguintes instituições de pesquisa e ensino: FAU/USP – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo; FZEA/USP – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo; IAU/USP – Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo; IFPB – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba; IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; PUC-Rio –Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul; UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte; UFS – Universidade Federal de Sergipe; UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Ao longo de seis anos de pesquisa, mais de trinta doutores contribuíram com a rede Inovatec e diversos alunos de mestrado, doutorado e treinamento técnico tiveram bolsas de estudo para atuarem nas pesquisas desenvolvidas.

Esse grande esforço de investigação contribuiu com o desenvolvimento de diferentes métodos de avaliação de desempenho relativos às edificações habitacionais e aos sistemas construtivos inovadores. Foram gerados relatórios, dezenas de artigos científicos e três livros foram publicados, consolidando os resultados da rede.

Os livros foram organizados na coletânea *Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras*, com os subtítulos: Manutenção e Percepção dos Usuários (Vol. 1); Materiais e Sustentabilidade (Vol. 2) e Conforto Ambiental, Durabilidade e Pós-Ocupação (Vol. 3). Os livros foram coeditados pela Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ANTAC e são distribuídos gratuitamente pelo site http://www.antac.org.br/livros.

Neste terceiro livro que fecha os resultados obtidos pela rede Inovatec – FINEP são encartados os resultados obtidos pelo IPT, envolvendo dois projetos relacionados ao desempenho térmico e acústico de edifícios, à avaliação da durabilidade de materiais, componentes e elementos construtivos no âmbito da Norma NBR 15575 e ao aperfeiçoamento do SiNAT, com o intuito de contribuir para a melhoria dos mecanismos de avaliação do

desempenho de edificações, ampliando as contribuições, iniciadas nos anos de 2010 a 2012, para a revisão da norma. No Capítulo 2, são apresentados os métodos e critérios para avaliação do desempenho térmico de edificações com métodos simplificado e detalhado, bem como os aspectos que precisam ser aprimorados. No Capítulo 3, há uma proposta para a melhoria do método simplificado. No Capítulo 4, além de uma proposta para o aprimoramento do método detalhado, são apresentadas sugestões para serem incorporadas ao SiNAT. No Capítulo 5, é indicado um método para a determinação de isolação sonora de fachadas em andares altos. No Capítulo 6, por fim, apresenta-se uma proposta de melhoria do método e critérios de ensaio de choque térmico de paredes.

O livro também contempla o trabalho desenvolvido em parceria pelo IAU e FAU/USP relativo a uma aplicação real dos métodos desenvolvidos para avaliação da manutenibilidade e avaliação de desempenho em uso. Com aplicação em escala real, foi possível não só avaliar um conjunto habitacional desenvolvido com sistema inovador, como consolidar os métodos apresentados no primeiro volume da coletânea. A contribuição da equipe do IAU/FAU contempla o Capítulo 7, que traz levantamentos das diretrizes e DATec´s desenvolvidos pelo SiNAT e apresenta estudos de caso exploratórios referentes à execução de três sistemas construtivos inovadores diferentes, construídos de forma industrializada. No Capítulo 8, a equipe apresenta o levantamento e análise da documentação e projetos de um conjunto habitacional construído com sistema sistemas de paredes constituídas por painéis pré-moldados misto (concreto e blocos cerâmicos), de acordo com a Diretriz SiNAT n. 002 – revisão 02/DATec 08A. O Capítulo 9 contempla a avaliação técnica de desempenho em uso e manutenção de habitações construídas com o referido sistema construtivo. O capítulo 10 apresenta os resultados e análises estatísticas referentes à percepção dos usuários sobre as habitações construídas com o mesmo sistema de painéis pré-moldados mistos (concreto e blocos cerâmicos). O capítulo 11 traz um balanço geral sobre a efetividade dos métodos avaliativos desenvolvidos pela equipe, para aplicação em conjuntos habitacionais construídos com sistemas inovadores.

O capítulo 12, desenvolvido pela equipe da PUC-Rio, apresenta informações básicas sobre a biologia, física e mecânica do bambu enquanto material de construção, considerando, particularmente, as espécies *Dendrocalamus giganteus, Guadua angustifolia, Guadua tagoara,*

Phyllostachys heterocycla pubescens (Moso) e Phyllostachys bambusoides (Matake), para as quais são apresentadas as propriedades físicas e mecânicas, permitindo que profissionais de engenharia e arquitetura considerem esse material em projetos de construção.

Outra colaboração encartada no livro é da equipe da FZEA/USP, desenvolvida no Capítulo 13, que contribui para a evolução do campo dos métodos e avaliações da durabilidade dos concretos estruturais com agregados leves inovadores por meio de métodos de carbonatação acelerada. O artigo compara concretos dosados com diferentes tipos de agregados (brita 1, argila expandida, argila calcinada de Itu e argila calcinada de Porto Ferreira) e contrasta a evolução da profundidade de carbonatação nos corpos de prova de concreto.

A equipe da UFRGS contribui no Capítulo 14 com métodos de avaliação de desempenho do concreto armado e apresenta requisitos e critérios para o emprego eficiente de espaçadores e cobrimento de concreto correto das barras de aço empregadas. Os requisitos propostos e critérios dimensionais estabelecido foram baseados na Norma Europeia (CEB, 1990) e Norma Britânica (BS 7973-1, 2001). A partir desses critérios, o trabalho investiga e compara diferentes modelos de espaçadores plásticos disponíveis no mercado brasileiro em face de diversas situações de uso. Foram também consideradas diferentes características dimensionais dos espaçadores, de estabilidade, de fixação e aplicação desses elementos, dentre outros itens.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-5953-029-2.2017C0002.p.27-46

Necessidade de Revisão dos Métodos de Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações no Âmbito da Norma NBR 15575 e do SiNAT

2

Adriana Camargo de Brito
Elisa Morandé Sales
Fúlvio Vittorino
Marcelo de Mello Aquilino
Maria Akutsu

1. Procedimentos para Avaliação do Desempenho Térmico de Edifícios Segundo a Norma NBR 15575

A Norma NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece três métodos para a avaliação do desempenho térmico: um método simplificado, que envolve cálculos de propriedades térmicas de componentes da envoltória, como paredes externas e cobertura, e dois métodos detalhados, relativos a simulações computacionais ou medições no local.

O método simplificado apresenta valores limites para a transmitância e para a capacidade térmica de paredes e também para a transmitância térmica de coberturas. A transmitância térmica é calculada levando em conta as espessuras dos materiais, sua condutividade e resistência térmica de espaços de ar, sendo relacionada ao isolamento térmico do componente, ou seja, suas propriedades em dificultar as trocas de calor entre ambientes. A capacidade térmica é calculada em função das espessuras dos materiais, do calor específico

e da massa específica, referindo-se à inércia térmica, ou seja, à capacidade dos componentes em atenuar as variações da temperatura do ar interior.

Em vários países, há normas e outros documentos técnicos que estabelecem critérios e métodos de avaliação da eficiência energética de edifícios, com base em valores limites para a transmitância térmica ou a resistência térmica da envoltória. Isso ocorre, especialmente, nos locais em que predominam condições de inverno rigoroso, situação comum no hemisfério norte, onde há temperaturas muito abaixo das que propiciam conforto térmico, havendo necessidade de uso de sistemas de calefação praticamente o tempo todo. Nesse contexto, o isolamento térmico dos componentes construtivos é determinante da eficiência energética da envoltória.

Por outro lado, em locais com predomínio de condições de verão, onde as temperaturas do ar exterior estão relativamente próximas daquelas que proporcionam conforto térmico, conforme ocorre em parte significativa do Brasil, fatores relacionados somente ao isolamento térmico da envoltória, como a transmitância térmica, não são suficientes para caracterizar a resposta térmica de edificações. Nesses locais, é necessário levar em conta também a inércia térmica dos edifícios, segundo ressaltam vários autores (AKUTSU, 1998; AKUTSU; VITTORINO, 1990; GRANJA, 2003; BARRIOS et al., 2012; BRITO, 2015).

Akutsu (1998) ilustra essa questão por meio da análise da resposta térmica de habitações, no verão e no inverno, correlacionando, dentre vários fatores, a temperatura máxima do ar interior e a carga térmica para aquecimento ou resfriamento do ambiente com as características térmicas das paredes (capacidade térmica e resistência térmica). A autora identificou uma forte correlação entre a resistência térmica das paredes e a carga térmica de aquecimento do ambiente no inverno (fator de correlação da ordem de 98%), como indicado no exemplo da Figura 1. Isso mostra que a resistência térmica é um bom indicador do desempenho térmico de uma edificação em condição de inverno, confirmando a adequação do uso desse fator para regular a eficiência energética de edifícios com calefação em locais com clima frio. Observa-se que essa foi a única situação na qual a resistência térmica teve boas correlações com um indicador da resposta térmica da edificação.

Por outro lado, houve boas correlações entre a capacidade térmica das paredes e a temperatura máxima do ar interior em condições de verão (fator de correlação da ordem de 95%), como apresentado no exemplo da

Figura 2. Isso indica que, para condições de verão, é possível utilizar também a capacidade térmica como indicador do desempenho térmico de edificações não climatizadas.

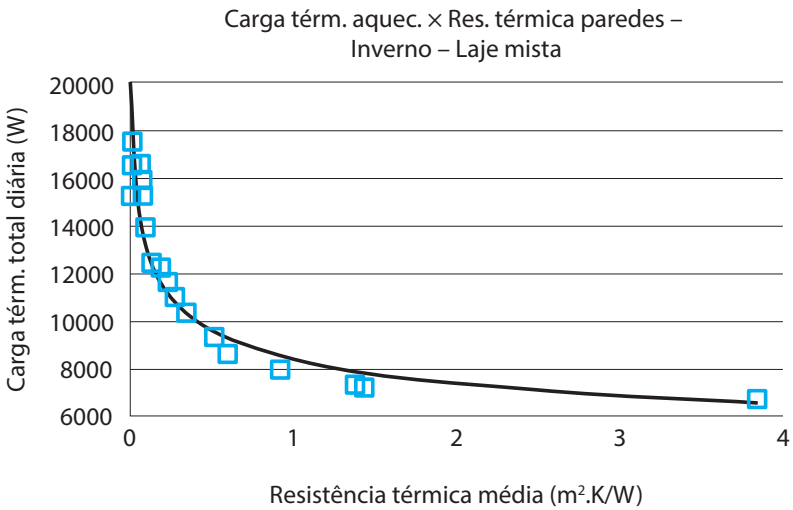


Figura 1. Exemplo de boa correlação entre carga térmica total diária para aquecimento e resistência térmica média de paredes externas e internas de ambiente com cobertura de laje mista (AKUTSU, 1998).

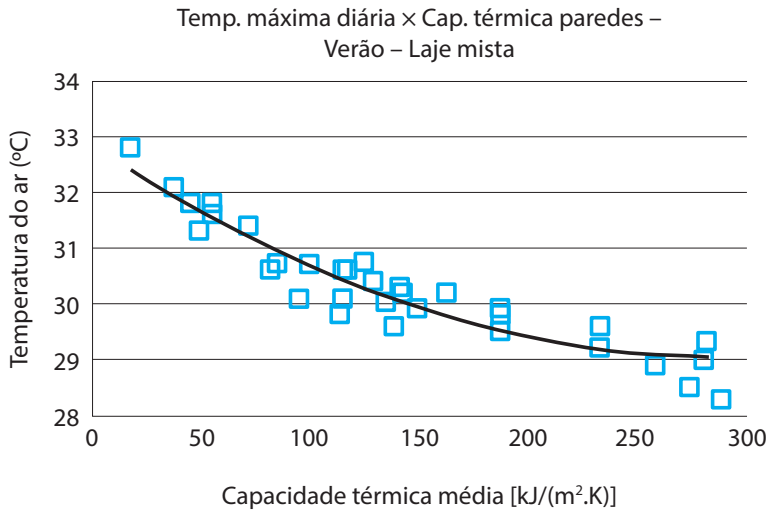


Figura 2. Exemplo de boa correlação entre temperatura máxima diária do ar interior e capacidade térmica média de paredes externas e internas de ambiente com cobertura de laje mista (AKUTSU, 1998).

Nesse contexto, a norma NBR 15575 (ABNT, 2013) mostra avanços na obtenção de avaliações mais consistentes do desempenho térmico de edificações expostas a climas com predomínio de condições de verão, sem o uso de sistemas de condicionamento térmico, pois incorpora aspectos relativos à inércia térmica de edificações, quando é importante considerar a capacidade térmica das paredes, juntamente com os fatores relacionados ao isolamento térmico da envoltória (transmitância térmica das paredes e cobertura).

Nas Tabelas 1 a 3, são apresentados os valores limites da transmitância térmica para coberturas e os valores limites da transmitância térmica e capacidade térmica de paredes, conforme a Zona Bioclimática previstos na norma NBR 15575 (ABNT, 2013). Os componentes construtivos devem ter valores das propriedades térmicas dentro dos limites indicados, o que proporciona à edificação o atendimento do nível "Mínimo" de desempenho térmico.

Tabela 1. Valores da transmitância térmica de coberturas (ABNT, 2013).

Transmitância térmica da cobertura (U) W/(m².K)				
Zonas 1 e 2	**Zonas 3 a 6**		**Zonas 7 e 8**	
U ≤ 2,3	α* ≤ 0,6	α* > 0,6	α* ≤ 0,4	α* > 0,4
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FT**	U ≤ 1,5 FT**

* absortância à radiação solar da superfície externa da cobertura; ** Fator de correção da transmitância (FT), estabelecido na NBR 15220-3 (ABNT, 2008).

Tabela 2. Valores da transmitância térmica de paredes externas (ABNT, 2013).

Transmitância térmica de paredes externas (U) W/(m².K)		
Zonas 1 e 2	**Zonas 3 a 8**	
U ≤ 2,5	α* ≤ 0,6	α* > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

*absortância à radiação solar da superfície externa da parede.

Tabela 3. Valor da capacidade térmica de paredes externas (ABNT, 2013).

Capacidade térmica de paredes externas (CT) kJ/(m².K)	
Zona 8	**Zonas 1 a 7**
Sem exigência	≥ 130

Sistemas construtivos com estrutura em *Steel Frame*, por exemplo, costumam ter fechamentos leves, com paredes em chapas cimentícias ou placas de OSB na face externa e placa de gesso acartonado na face interna, e coberturas em forro de gesso acartonado ou madeira, com telhas metálicas ou cerâmicas. Nesses casos, as paredes têm transmitância térmica da ordem de 2,6 W/(m².K), capacidade térmica próxima de 50 kJ/(m².K) e transmitância térmica da cobertura por volta de 1,0 W/(m².K) (Figura 3).

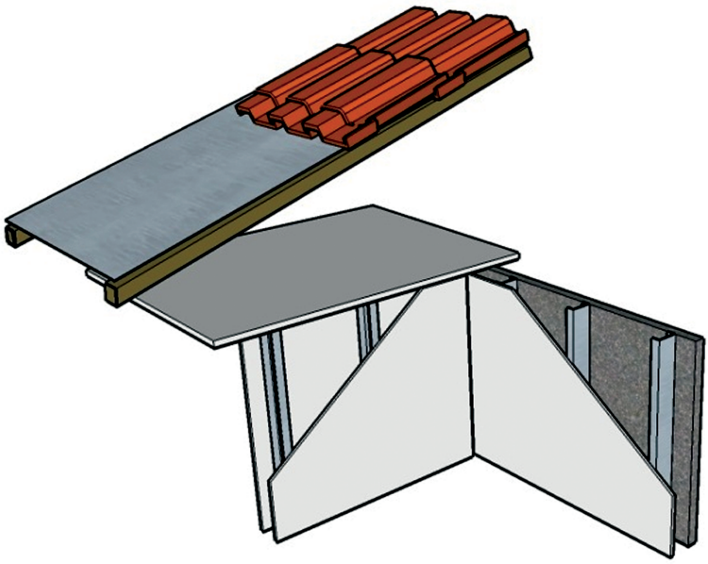


Figura 3. Exemplo de sistema construtivo leve.

Sistemas construtivos mais tradicionais costumam ser mais pesados, como aqueles feitos com paredes de tijolos cerâmicos maciços, revestidas com argamassa em ambas as faces, cobertura em laje de concreto e telhado em telhas cerâmicas. Nesses sistemas, as paredes tem transmitância térmica e capacidade térmica da ordem de 2,0 W/(m².K) e 500 kJ/(m².K) respectivamente, e cobertura com transmitância térmica aproximada de 1,5 W/(m².K) (Figura 4).

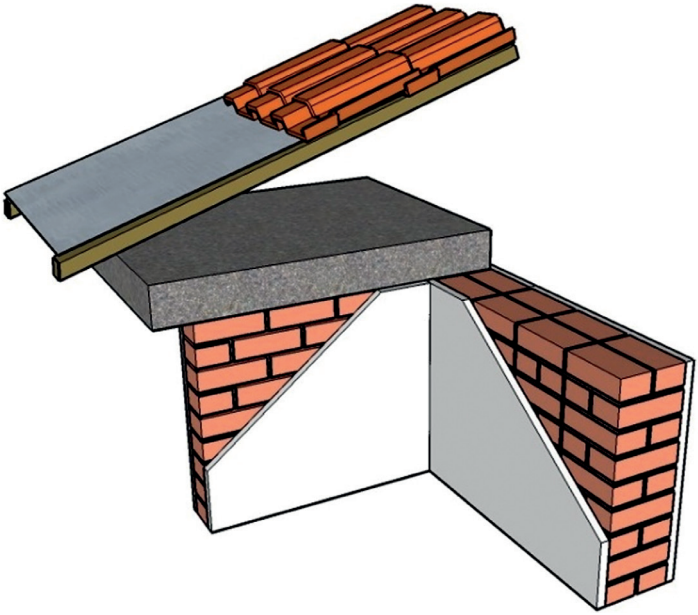


Figura 4. Exemplo de sistema construtivo pesado.

Para ver mais valores calculados da transmitância térmica, da capacidade térmica de paredes e da transmitância térmica de coberturas, pode-se consultar a Norma NBR 15220 (ABNT, 2008), que também inclui uma descrição da forma de se efetuar os cálculos dessas grandezas, bem como tabelas com valores das características de materiais de construção e resistência de espaço de ar, utilizadas nos cálculos.

De modo geral, os valores limites dessas grandezas (capacidade térmica e transmitância térmica) estabelecidos na norma NBR 15575 para paredes e coberturas (ABNT, 2013) levam em conta as características macro climáticas das regiões do país. Como exemplo, na referida norma, é estabelecido o uso de componentes de parede com maior capacidade térmica em lugares onde ela tem maior potencial para melhorar o desempenho térmico dos ambientes, como é o caso de São Paulo, cidade alocada na Zona Bioclimática 3. Para locais como Salvador, que faz parte da Zona Bioclimática 8, não seria adequado utilizar componentes muito pesados, não havendo exigência quanto à capacidade térmica de paredes.

A aprovação do sistema construtivo pelo método simplificado (fachadas e cobertura) visa garantir que, em habitações típicas, não sejam

utilizados componentes construtivos totalmente inadequados às condições climáticas do local. Caso não sejam atendidos os critérios de avaliação por esse método, é possível efetuar uma avaliação por meio do método detalhado, que consiste na simulação computacional do comportamento térmico do edifício ou em medição dos parâmetros térmicos no local onde a edificação foi construída.

Segundo a Norma NBR 15575 (ABNT, 2013), as simulações computacionais devem ser realizadas para os dias típicos de projeto, para o período de verão e de inverno, definidos para oito Zonas Bioclimáticas Brasileiras, conforme zoneamento apresentado na Norma NBR 15220 (ABNT, 2008). Para edificações nas zonas bioclimáticas 1 a 5, em que há períodos de verão e de inverno característicos, a avaliação é feita nas duas situações.

Para as zonas bioclimáticas 6 a 8, nas quais há predomínio de condições de verão praticamente o ano todo, não é necessário considerar o período de inverno. São utilizados como referência os dados climáticos dos dias típicos de projeto indicados na norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

As simulações computacionais devem ser efetuadas levando em conta a integralidade da edificação, com cada recinto sendo considerado uma zona térmica, a partir do uso de programas semelhantes ao *EnergyPlus* (USDOE, 2015), que considera condições dinâmicas de trocas de calor e tem capacidade de simular a inércia térmica de edificações. São analisados os dados de um dormitório e da sala de estar em condições mais críticas de exposição ao clima, ou seja, com a janela dos dormitórios e salas voltadas para oeste no dia típico de verão e para sul no dia típico de inverno (ABNT, 2013).

Na Figura 5, é apresentado um exemplo da geometria de uma edificação simulada no programa *EnergyPlus,* construída com o auxílio do *plugin Open Studio* no programa *Sketchup*. Na figura, são indicadas algumas características de uma face do telhado na zona térmica da cobertura (*roof)*. Essa superfície volta-se para o ambiente exterior e está exposta ao sol e ao vento *(sun exposed and wind exposed)*, com o componente construtivo denominado pelo avaliador como "cobertura". No programa *EnergyPlus,* há campos específicos em que este componente é descrito em camadas e de acordo com as características físicas e térmicas dos materiais que as compõe, como espessura, condutividade térmica, calor específico, massa específica, absortância à radiação solar, emissividade.

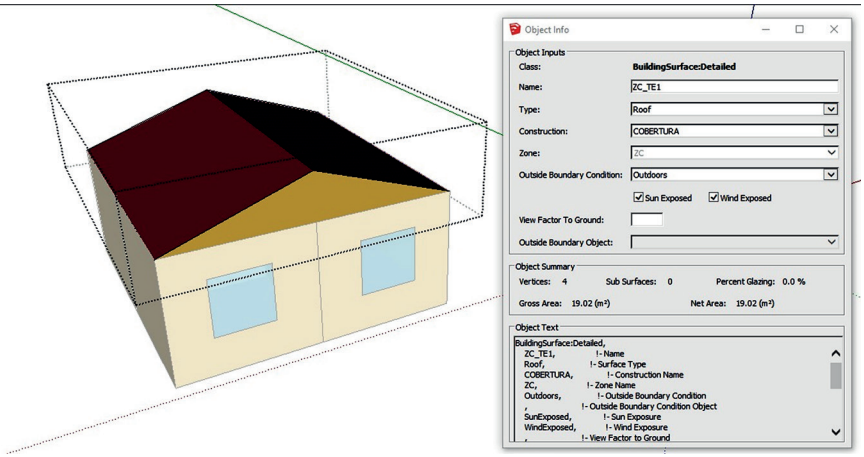


Figura 5. Exemplo de geometria de edificação simulada no programa EnergyPlus.

As edificações devem ser simuladas sem fontes internas de calor, para que seja indicada a resposta térmica da interação da edificação com o clima. Os recintos são simulados com módulos simplificados de ventilação com uma taxa de 1 ou 5 renovações do volume de ar do ambiente por hora (Ren/h).

Esses valores geralmente são obtidos em recintos com dimensões habitacionais típicas, por infiltração a partir de frestas ou sem a presença de vento, no caso de 1 Ren/h e com a presença de vento, na situação em que há 5 Ren/h. Não são utilizados módulos de ventilação mais complexos, os quais levariam em conta também as peculiaridades do projeto arquitetônico que interferem nas movimentações do ar nos ambientes.

Na avaliação, são determinados os valores horários da temperatura do ar no interior dos referidos recintos. Os critérios de avaliação de edificações não condicionadas, apresentados no Anexo E da Norma NBR 15575-1 (ABNT, 2013), classificam o desempenho térmico da edificação em função do seu comportamento nos dias típicos de verão e de inverno, segundo três níveis: “M” (Mínimo), “I” (Intermediário) ou “S” (Superior), adotando-se, como parâmetro de avaliação, a temperatura do ar interior.

É obrigatório o atendimento aos critérios referentes ao nível “Mínimo” de desempenho, sendo opcional o atendimento aos demais (intermediário e superior). Nas Tabelas 4 e 5, são apresentados, respectivamente, os critérios de avaliação do desempenho térmico para condições de verão e de inverno.

Como a norma é voltada para edificações habitacionais típicas, não climatizadas, nas quais não há controle das condições ambientais, o atendimento do nível mínimo de desempenho térmico não garante, necessariamente, o conforto térmico do usuário, mas somente que o habitante esteja exposto a condições iguais ou melhores que aquelas encontradas no ambiente exterior, descartando aberrações construtivas. Somente com o atendimento dos níveis intermediário e superior, há maior possibilidade de proporcionar conforto térmico do usuário.

Tabela 4. Critério de avaliação do desempenho térmico de edificações para condições de verão (ABNT, 2013).

Nível de Desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	**Zona 8**
Mínimo	Timáx ≤ Temáx	Timáx ≤ Temáx
Intermediário	Timáx ≤ (Temáx – 2 °C)	Timáx ≤ (Temáx – 1 °C)
Superior	Timáx ≤ (Temáx – 4 °C)	Timáx ≤ (Temáx – 2 °C)

Timáx é o valor máximo diário da temperatura do ar interior, em graus Celsius; Temáx é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior, em graus Celsius.

Tabela 5. Critério de avaliação do desempenho térmico de edificações para condições de inverno (ABNT, 2013).

Nível de Desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	**Zonas 6, 7 e 8**
Mínimo	Timín ≥ (Temín + 3 °C)	Não precisa ser verificado
Intermediário	Timín ≥ (Temín + 5 °C)	
Superior	Timín ≥ (Temín + 7 °C)	

Timín é o valor mínimo diário da temperatura do ar interior, em graus Celsius; Temín é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior, em graus Celsius.

2. Aspectos a Aprimorar nos Métodos de Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações da Norma NBR 15575 e no SiNAT

Em decorrência da execução de inúmeros trabalhos pelo Laboratório de Conforto Ambiental – LCA do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, identificou-se que a Norma NBR 15575

apresenta problemas nos critérios estabelecidos para o método simplificado, bem como não contém todos os dados necessários para a realização de avaliações por medições e por simulações computacionais. Isso pode acarretar resultados inconsistentes nas avaliações, visto que deixa a livre a escolha do avaliador, o qual nem sempre dispõe de dados adequados.

Nas avaliações do desempenho térmico de edificações no âmbito do SiNAT, é fundamental estabelecer procedimentos específicos para a realização das avaliações por simulações, levando em conta a necessidade de identificação da adequação climática de um sistema construtivo, e não somente de uma edificação específica.

A seguir são destacados os principais fatores que precisam ser revisados na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), tanto para o método simplificado como para o método detalhado, em função também do objetivo da avaliação, fator não citado na referida norma. São destacados os problemas existentes quanto a dados ausentes ou incompletos para efetuar avaliações por simulações computacionais e medições no local.

2.1. Método Simplificado

No método simplificado, há ausência de informações dos limites de aplicabilidade do método, além de critérios pouco exigentes, especialmente para a Zona Bioclimática 8, que podem resultar no atendimento do nível "Mínimo", sem que as edificações, na prática, apresentem desempenho adequado.

2.2. Método Detalhado: Tipo de Avaliação

Dependendo da necessidade do avaliador, seja a de identificar o desempenho térmico de uma habitação existente ou de uma edificação em fase de projeto ou apenas de um sistema construtivo, há peculiaridades a serem consideradas em cada tipo de avaliação, bem como em quais circunstâncias os resultados podem ser utilizados.

No âmbito do SiNAT – Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Sistemas Inovadores e Convencionais, o objetivo da avaliação é identificar o desempenho térmico potencial de um sistema construtivo, e não necessaria-

mente de uma edificação, visto que os resultados são utilizados para aprovação de empreendimentos habitacionais com projetos diversos.

Entretanto, para realizar avaliações do desempenho térmico por simulação ou medição, é necessário relacionar o projeto de uma edificação com o sistema construtivo em questão. Atualmente, diante dos diferentes projetos utilizados nas avaliações, há dificuldade em identificar somente o efeito do sistema construtivo na resposta térmica da edificação e, consequentemente, não se tem informação precisa sobre sua adequação ao clima do local.

Os documentos de avaliação técnica – DATec´s, nos moldes atuais, não fazem menção ao projeto da edificação que foi avaliada. Nos casos em que o projeto apresenta especificidades que tenham um papel significativo no atendimento do nível "Mínimo" de desempenho térmico da edificação, essas questões deveriam constar no referido documento para que os construtores tenham conhecimento e as considerem nas edificações que irão produzir.

Caso contrário, essa falha nos DATec´s permite que um sistema construtivo aprovado no âmbito do SiNAT, eventualmente, não proporcione um desempenho térmico adequado em edificação construída com um projeto diferente daquele utilizado na avaliação. Como exemplo, pode-se considerar a avaliação de uma habitação com sistema construtivo leve, sem materiais isolantes térmicos na cobertura, cujo nível de desempenho térmico é, geralmente, afetado de modo mais significativo por alterações no projeto. Caso na avaliação o acabamento externo das telhas seja com cores claras, e a edificação atenda o nível "Mínimo", é provável que em uma edificação já construída, com cor escura na cobertura, não seja atendido o nível "Mínimo" de desempenho térmico.

2.2.1. Conteúdo de Relatórios no Âmbito do SiNAT

Em contato com órgãos relacionados ao Ministério das Cidades, identificou-se que muitos relatórios apresentados ao SiNAT, para a obtenção do DATec, nem sempre apresentam o mesmo nível de informação, seja sobre o método de avaliação ou referente à descrição da edificação e seus componentes. Esses fatores dificultam a identificação de eventuais inconsistências na avaliação, o que precisa ser revisto.

2.3. Simulações

2.3.1. Dados Climáticos de Dias Típicos de Projeto

Não há dados de dias típicos de projeto para as cidades constantes nas Zonas Bioclimáticas 2 e 5, lacuna da norma NBR 15220 (ABNT, 2008), utilizada como referência nas avaliações, o que dificulta a análise do desempenho térmico de edificações alocadas nessas zonas climáticas.

2.3.2. Temperatura do Solo

A temperatura do solo é um fator fundamental a ser considerado nas simulações para a análise da resposta térmica de habitações térreas e de ambientes em contato com o solo. Em decorrência das trocas de calor que ocorrem entre a edificação e o solo, ao inserir dados inadequados sobre a temperatura da superfície do terreno, a resposta térmica dos recintos e o nível de desempenho alcançado podem ser afetados de modo significativo.

2.3.3. Dia do Ano

Mesmo sendo inseridos no programa de simulação, os dados de um dia típico de projeto com informações da radiação solar diária incidente no plano horizontal, – que são apresentados na norma para várias cidades –, para efeito de incidência solar na edificação, é necessário escolher o dia em que a avaliação será feita, a fim de proporcionar análises da eficiência de dispositivos de sombreamento na resposta térmica dos recintos, também em função do objetivo da avaliação.

2.3.4. Zoneamento Bioclimático

O zoneamento bioclimático utilizado como referência para a avaliação do desempenho térmico de habitações, apresentado na Norma NBR 15220 (ABNT, 2008), aloca, na mesma zona, cidades com características climáticas diferentes do ponto de vista da adequação climática de uma edificação. Esse fator proporciona que uma mesma edificação possa ser classificada segundo diferentes níveis de desempenho térmico em localidades diferentes dentro de uma mesma Zona Bioclimática, o que não deveria acontecer.

Isso ocorre em virtude da forma como o zoneamento foi elaborado, com base nas temperaturas médias, máximas e mínimas do ar, e na umidade

relativa do ar em vários locais, que representam algumas das principais variáveis que afetam o conforto térmico humano, mas não contemplam as principais variáveis climáticas que afetam a resposta térmica das edificações, as quais incluem também a radiação solar incidente no plano horizontal e a amplitude diária da temperatura do ar.

Desse modo, o zoneamento apresentado na norma NBR 15220 (ABNT, 2008) é inadequado e impreciso para fins de avaliação do desempenho térmico de edificações. Há necessidade de refazer o zoneamento de maneira consistente, agrupando cidades em uma mesma zona com características climáticas que proporcionem o mesmo nível de desempenho térmico de edificações com determinadas características. Para isso, deve-se levar em conta as principais variáveis climáticas que interferem na resposta térmica das edificações, como as temperaturas máximas diárias ou mínimas diárias, a amplitude diária da temperatura do ar e a radiação solar global incidente em plano horizontal.

2.4. Medições

A Norma NBR 15575 (ABNT, 2013) apresenta procedimentos para efetuar as medições da resposta térmica da edificação em dias típicos de projeto. Considerando que há certa dificuldade em realizar as medições em um dia idêntico ao dia apresentado na norma, não há indicações sobre os procedimentos que devem ser executados durante a avaliação, para que seja possível tirar conclusões sobre o seu desempenho térmico, a partir de dados obtidos em dias com condições climáticas diferentes daquelas dos dias típicos.

3. Proposta Conceitual para Aprimorar Métodos Detalhados de Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações e Sistemas Construtivos

Para proporcionar maior clareza dos aspectos que são fundamentais para a consistência dos resultados de avaliações do desempenho térmico de habitações pelos métodos detalhados, é necessário determinar, desde o início, qual é o objetivo da avaliação e, posteriormente, estabelecer procedimentos para alcançar cada objetivo de modo adequado.

Basicamente, é possível identificar pelo menos 3 tipos de avaliações: a) avaliação do desempenho térmico de edificação existente; b) avaliação do projeto de edificação a ser construída em um determinado terreno e c) avaliação do potencial de um sistema construtivo ser adequado ao clima do local.

3.1. Avaliação por Medições de Edificação Existente

Na avaliação por meio de medições do desempenho térmico de uma habitação, há uma série de peculiaridades que estão sendo abordadas, seja quanto ao projeto, à geometria ou às condições de exposição dos recintos ao clima. Nesse contexto, não é possível identificar contribuições somente do sistema construtivo ou do projeto, no nível de desempenho térmico obtido, devido ao fato da edificação ser avaliada em condições únicas quanto à orientação de aberturas, geometria e especificidades do microclima do local, especialmente no caso das medições.

Destaca-se ainda que o microclima local sofre influências diversas do entorno, como sombreamento por outras edificações, presença de vegetação, dentre outros aspectos, que podem produzir condições substancialmente diferentes do macroclima da cidade. Nesse caso, os resultados da avaliação indicam a resposta térmica e o nível de desempenho somente da edificação que está sendo analisada.

Quanto ao período de medições, na impossibilidade de se obter as condições climáticas de um dia típico do local, com o intuito de se ter uma ideia da representatividade dos resultados, o avaliador precisa identificar a frequência de ocorrência dos dados climáticos obtidos no dia das medições utilizado para avaliar o desempenho térmico da edificação. Isso possibilitará verificar o grau de rigor da avaliação que foi feita, ou seja, caso o dia em que foram feitas as análises tenha 50% de frequência de ocorrência, por exemplo, significaria que sua avaliação pode ter sido pouco rigorosa, pois somente em metade do período a edificação terá garantido aquele desempenho.

Caso não haja dados climáticos medidos na região para análise estatística de sua frequência de ocorrência, não é recomendável realizar a avaliação por medições se o intuito da avaliação for construir edificações iguais na região, pois os resultados obtidos não são suficientes para tirar conclusões sobre o desempenho térmico do edifício. Nesse contexto, medições seriam adequadas somente para a realização de análises comparativas do desempenho térmico de habitações com a finalidade

de verificar efeitos do projeto ou do sistema construtivo em sua resposta térmica, o que é comum em etapas de desenvolvimento de novos sistemas construtivos, testados em edificações que funcionam como protótipos. Além disso, nesse tipo de avaliação é importante selecionar dados medidos em um dia com uma série homogênea de pelo menos três dias, para que a avaliação seja consistente, visto que a resposta térmica das edificações sofre influência dos dias anteriores (AKUTSU, 1998).

3.2. Avaliação de Edificação em Fase de Projeto por Simulações

As simulações computacionais de um projeto a ser construído em um determinado terreno representam situação similar à anterior, ou seja, os resultados obtidos são aplicáveis somente à edificação analisada, visto que, geralmente, são consideradas características específicas quanto à orientação de aberturas e geometria.

Na fase de projeto, é possível ainda fazer avaliações do desempenho térmico do edifício com várias opções de sistemas construtivos ou com variações na geometria da futura edificação, possibilitando a identificação das soluções mais adequadas do ponto de vista de seu desempenho térmico. Essa é uma ferramenta importante para os projetistas.

3.3. Avaliação de Sistema Construtivo por Medições ou Simulações

Quando há o objetivo de identificar o desempenho potencial de um sistema construtivo, rápidas análises dos componentes pelo método simplificado de avaliação do desempenho térmico informam as características gerais do sistema. Geralmente, quanto mais inovador é o sistema construtivo, maior é a probabilidade de ele não conseguir atender aos critérios desse método, pois há uma tendência em se utilizar elementos leves, que possuem capacidade térmica abaixo dos valores limites estabelecidos pela norma.

Isso torna necessário efetuar análises mais detalhadas, por meio de medições ou simulações computacionais, que requerem um projeto arquitetônico ou uma edificação construída. Nessas situações, há uma questão importante referente ao efeito que o projeto do edifício pode ter na resposta térmica da edificação com o sistema construtivo que se deseja analisar.

Projetos arquitetônicos bem elaborados podem contribuir para a melhoria do desempenho térmico da edificação, mesmo quando composta por sistema potencialmente inadequado ao clima. Lembrando ainda que o oposto também pode ocorrer no caso de um projeto com problemas.

3.3.1. Projeto Padrão de Ensaio

De modo geral, em locais com alta amplitude da temperatura do ar, onde é requerida maior inércia térmica das edificações, como estratégia passiva de climatização de edifícios, com o uso de sistemas construtivos muito leves, há um baixo potencial em proporcionar recintos com desempenho térmico adequado. Isso pode ser observado na Figura 6, que indica a resposta térmica de dois ambientes constituídos de geometrias iguais com fechamentos em componentes leves e pesados, expostos às condições climáticas da cidade de São Paulo.

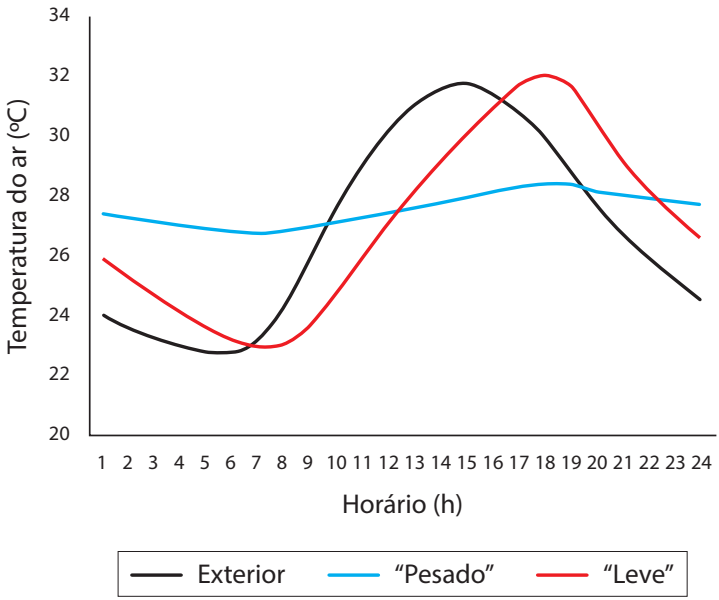


Figura 6. Exemplo de resposta térmica de recinto com sistema construtivo leve (à esquerda) e sistema construtivo pesado (à direita), em um dia típico de verão na cidade de São Paulo.

O sistema construtivo leve acompanha as variações que ocorrem na temperatura do ar exterior, apresentando a mesma ordem de grandeza

destas, resposta térmica típica de recinto com baixa inércia térmica. Por outro lado, em relação ao sistema pesado, há um significativo amortecimento na amplitude diária da temperatura do ar interior em comparação com a amplitude do ar exterior, comportamento típico de recintos com alta inércia térmica.

Recintos com sistemas leves têm uma resposta térmica mais suscetível a alterações no projeto da edificação, em comparação aos recintos com sistemas pesados, com alta inércia térmica (BRITO, 2015). Essas alterações são relacionadas a fatores como: cor da superfície externa dos componentes (GRANJA; LABAKI, 2003; CHENG; GIVONI, 2005; BRITO; AKUTSU, 2015), orientação solar de aberturas (AKUTSU; VITTORINO, 1990; CLARO, 2010), sombreamento de aberturas, contato do piso com o solo (CHIRAS, 2002; SOUZA et al., 2011; MAZZARRÓN et al., 2012; BRITO et al., 2013) e área envidraçada nos recintos (AKUTSU; VITTORINO, 1990; CLARO, 2010; SALES et al., 2014). Para o último aspecto, Sales et al. (2014) mostram que a alteração na área envidraçada na fachada de um recinto habitacional de 15 % da área de piso para 30%, proporciona um aumento de até 3ºC no valor da temperatura máxima do ar interior em ambiente com sistema leve, enquanto, em um sistema pesado, ocorre um aumento da ordem de 0,7ºC.

Devido à influência do projeto na resposta térmica dos recintos, em especial aqueles com baixa inércia térmica, nas avaliações em que se deseja ter uma ideia da adequação climática do sistema construtivo, é fundamental estabelecer um projeto padrão de ensaio para a avaliação do desempenho térmico dos recintos. Isso não implica, de maneira alguma, a imposição de um projeto para ser construído em todas as localidades brasileiras, mas somente a escolha de um projeto de referência para ser usado em todas as avaliações, de modo a possibilitar análises comparativas do desempenho térmico dos vários sistemas construtivos.

O projeto arquitetônico padrão de ensaio precisa representar as principais tipologias de habitações típicas brasileiras, como casa térrea, sobrado e apartamento, além de ter características de exposição ao clima, mais críticas do ponto de vista térmico, que sejam suficientes para gerar informações sobre desempenho térmico do sistema construtivo e que possam ser extrapoladas para outras edificações, com o mesmo sistema analisado,

expostas a condições menos críticas que aquelas que foram consideradas na avaliação.

Algumas dessas características, como a orientação solar de aberturas para a direção oeste no verão e sul no inverno, já são abordadas pelo texto atual da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), havendo a necessidade de acrescentar informações quanto à porcentagem de área envidraçada e área de elementos opacos na fachada da habitação padrão de ensaio.

Um construtor que consiga obter o DATec para o sistema construtivo que comercializa teria a possibilidade de ter liberdade para fazer alterações no projeto das edificações, desde que suas características gerais sejam iguais ou menos críticas do que as da habitação utilizada nas avaliações (casa térrea, sobrado, apartamento).

3.3.2. Avaliações por Medições

No caso de avaliações por medições, além de considerar os projetos padrão de ensaio, o avaliador deve garantir que a edificação está exposta a condições mais críticas, sem haver sombreamento por árvores e vegetações, e que possam fornecer dados adequados.

Entretanto, mesmo com tais cuidados, ainda há influências do microclima local, que pode ser muito diferente se o campo de ensaio estiver em uma área rural ou em região urbana densamente edificada. Além disso, o período de medições precisa ser representativo de condições climáticas mais extremas, da ordem de grandeza de um dia típico de projeto, com frequência de ocorrência da ordem de 10%, o que nem sempre é possível. Desse modo, para esse tipo de avaliação, seria mais adequado realizar a avaliação por meio de simulações computacionais.

3.3.3. Avaliações por Simulações

Nas avaliações por simulações, com projetos padrão de ensaio, também é necessário considerar ajustes nos procedimentos de simulação que possam reduzir eventuais inconsistências em avaliações, decorrentes das imprecisões apontadas no zoneamento climático apresentado na norma NBR 15220 (ABNT, 2008) e dos dados climáticos de dias típicos de projeto ausentes ou incompletos, como apresentado anteriormente, bem como na forma de apresentar os resultados.

Quanto ao zoneamento, é possível apontar dois caminhos a seguir: a) refazê-lo ou corrigi-lo, o que não foi previsto no escopo do projeto de pesquisa da qual esta publicação faz parte, e necessitaria um projeto específico diante de sua complexidade; b) padronização de parte dos dados climáticos de entrada nas simulações.

Os dados climáticos de entrada no programa de simulação devem ser complementados de modo a reduzir a atuação do avaliador na sua escolha, proporcionando maior consistência dos resultados, visto que este profissional se limitará a tomar decisões somente quanto aos dados descritivos da geometria e das características dos materiais.

Com referência ao relatório de apresentação dos resultados das avaliações no âmbito do SiNAT, é necessário estabelecer um escopo mínimo de informações, abrangendo a descrição do método de trabalho, que deve ter como base os procedimentos da norma NBR 15575 (ABNT, 2013); uma descrição detalhada dos dados climáticos e do sistema construtivo, incluindo características térmicas das camadas de materiais e todas as informações necessárias à eventual reprodução das simulações. Além disso, é fundamental ter um profissional que assine o relatório de avaliação, responsabilizando-se por seus resultados.

Referências

AKUTSU, M. **Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil.** 1998. 150 p. Tese (doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

AKUTSU, M.; VITTORINO, F. Aplicação de Isolante Térmico em Edificações: Efeito no Conforto Térmico e nas Cargas Térmicas de Condicionamento de Ambientes. In: Encontro Nacional de Conforto Ambiental, 1990, Gramado. **Anais...** Gramado: Antac, 1990. p. 69-77.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15220:** Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575:** Edifícios Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BRITO, A.C.; AKUTSU, M.; VITTORINO, F.; AQUILINO, M.M. O efeito da verticalização do edifício e do sistema construtivo na inércia térmica de habitações unifamiliares. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: Antac, 2013.

BRITO, A.C. **Contribuição da inércia térmica na eficiência energética de edifícios de escritórios na cidade de São Paulo**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica de Energia de Fluidos) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3150/tde-13062016-102613/>.

BRITO, A.C.; AKUTSU, M. Contribuição da cor da cobertura na melhoria do desempenho térmico de habitação no período de verão. In: XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC 2015), 2015, Campinas. **Anais...** Campinas: Antac, 2015.

CHENG, V.; GIVONI, B. Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. **Solar Energy Journal**, v. 78, p. 528-534, 2005.

CHIRAS, D. D. **The solar house:** passive heating and cooling. 1. ed. Chelsea Green Publishing Company, 2002.

CLARO, M.S. **Análise do efeito do envidraçamento sobre a eficiência energética de fachadas em edifícios de escritórios de grande porte na cidade de São Paulo.** 2010, 194 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, São Paulo, 2010.

GRANJA, A.D.; LABAKI, L. C. Influence of external surface colour on the periodic heat flow through a flat solid roof with variable thermal resistance. **Journal of Energy Research**, v. 27, p. 771-779, 2003.

MAZZARRÓN, F.R.; FALCETO, J.C.; CAÑAS, I. Ground Thermal Inertia for Energy Efficient Building Design: A Case Study on Food Industry. **Energies**, p. 227-241, 2012.

SALES, E.M.; AKUTSU, M.; BRITO, A. C. Efeito de variações no projeto de arquitetura de uma habitação no seu desempenho térmico In: XV encontro nacional de tecnologia do ambiente construído (ENTAC 2014), 2014, Maceió. **Anais...** Maceió: Antac, 2014.

SOUZA, H.A.D.; AMPARO, L.R.; GOMES, A.P. **Influência da inércia térmica do solo e da ventilação natural no desempenho térmico:** um estudo de caso de um projeto residencial em light steel framing. Ambiente Construído. Porto Alegre, v. XI, p. 113-118, 2011.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-5953-029-2.2017C0003.p.47-64

3 Proposta de Procedimentos para Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações (NBR 15575 e SiNAT) – Método Simplificado

Adriana Camargo de Brito
Elisa Morandé Sales
Fúlvio Vittorino
Marcelo de Mello Aquilino
Maria Akutsu

1. Introdução

Na avaliação do desempenho térmico de edificações por métodos simplificados, os critérios utilizados precisam garantir que sistemas construtivos totalmente inadequados às condições climáticas do local sejam rapidamente identificados e descartados ou aprimorados. Nesse sentido, o método simplificado de avaliação de desempenho térmico de edifícios presente na versão atual da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), que estabelece valores limite para as propriedades térmicas representativas do sistema construtivo, tem se mostrado limitado.

Informações insuficientes no texto da referida norma permitem que, em alguns casos, sistemas construtivos inadequados ao clima atendam ao nível "Mínimo" de desempenho térmico, mesmo sem ter as características imprescindíveis para proporcionar um desempenho térmico adequado, o que não deveria ocorrer. Isso está relacionado, por exemplo, à ausência de informações quanto aos limites da aplicabilidade do método, em função

de características da edificação analisada, ou à existência de critérios pouco exigentes, especialmente, para a Zona Bioclimática 8.

Há ainda falta de uniformidade dos critérios relacionados às cores do acabamento externo de paredes e coberturas (absortância das superfícies à radiação solar), que apresentam intervalos diferentes, para avaliações de propriedades térmicas de componentes pelo método simplificado e nos procedimentos de avaliação do método detalhado, condição que também pode prejudicar o entendimento dos avaliadores, afetando os resultados das avaliações.

1.1. Características da Edificação Avaliada pelo Método Simplificado

O texto da norma NBR 15575 (ABNT, 2013) apresenta somente exigências para propriedades térmicas de paredes e cobertura, com o intuito de verificar a adequação do sistema construtivo ao clima do local, quando aplicado em edificações habitacionais típicas de interesse social. Desse modo, por referir-se somente ao sistema construtivo, o método não estabelece limitações para o seu uso.

Entretanto, além das características térmicas da envoltória (AKUTSU; VITTORINO, 1990; DI PERNA et al., 2011; AKUTSU et al. 2012; BRITO, 2015), há muitas variáveis que podem afetar a resposta térmica dos recintos em uma edificação, por exemplo: a geometria dos ambientes, como apresentado por Ferrari (2007), Gratia e Herd (2002) e Herd e Gratia (2002); a área envidraçada na fachada, como indicado por Akutsu e Vittorino (1990) e Claro (2010); a área opaca da fachada em relação à área de piso do recinto (BRITO, 2015).

Nesse contexto, levar em conta somente a adequação climática do sistema construtivo pode não ser suficiente para conhecer o desempenho térmico potencial de uma edificação habitacional, principalmente, se tal moradia tiver um projeto muito diferente do usual.

A falta desse tipo de informação na norma NBR 15575 (ABNT, 2013) permite aos avaliadores, por exemplo, analisar o desempenho térmico dos fechamentos opacos de uma habitação com área transparente na fachada, substancialmente mais significativa que a área de elementos opacos. Em situações extremas como essa, o desempenho térmico dos recintos será

determinado, certamente, pelo vidro, fator não abordado na avaliação, e não pelos fechamentos opacos da envoltória que foram avaliados.

Isso permite que habitações que serão construídas com o mesmo sistema construtivo, porém com diversas proporções de áreas envidraçadas na fachada, possam atender aos critérios do nível "Mínimo" de desempenho térmico pelo método simplificado de avaliação sem, no entanto, proporcionar um desempenho térmico adequado na prática. Na Figura 1, há vários exemplos de ilustrações de fachadas de edificações com diferentes áreas envidraçadas nas fachadas, que se enquadram na descrição da situação destacada anteriormente, e que teriam, potencialmente, desempenhos térmicos diversos, mesmo se construídas com o mesmo sistema construtivo e geometria.

Figura 1. Exemplos de habitações com o mesmo sistema construtivo e projeto arquitetônico com diferentes áreas envidraçadas na fachada.

Com o intuito de impedir esse tipo de interpretação equivocada da norma, referente ao uso do método simplificado de avaliação do desempenho

térmico de habitações, é necessário acrescentar algumas características da edificação para as quais o método é válido.

Sales, Akutsu e Brito (2014) mostram o efeito que alterações em vários fatores geométricos causam no desempenho térmico de habitações, incluindo ampliações ou reduções proporcionais de toda a edificação em até 35 % do tamanho original, aumento do pé-direito em até 0,50 m e aumento da área envidraçada da fachada em relação à área de piso do recinto de inicialmente 15 %, que é o valor mínimo para iluminação natural de ambientes, segundo o Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo (SÃO PAULO, 1992), até o dobro dessa área, com intervalos de 5%. Foi utilizado, na referente pesquisa, vidro comum transparente em todas as situações.

As autoras consideraram sistemas construtivos tradicionais pesados (paredes em tijolos cerâmicos maciços, revestidas com argamassa em ambas as faces) e sistemas mais leves (com fechamentos verticais em chapa cimentícia na face externa e gesso acartonado na face interna), aplicados em projeto de habitação térrea da Companhia para o Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU, 1997).

Foram realizadas simulações computacionais da resposta térmica das habitações em dias típicos de verão das cidades de São Paulo – SP e Manaus – AM. Essas cidades representam as Zonas Bioclimáticas 3 e 8, respectivamente, regiões com características de verão e inverno e com predomínio de verão (ABNT, 2008). As habitações foram simuladas com o programa *EnergyPlus*, com base nos procedimentos da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), ventiladas com taxa de renovação do ar de 1 Ren/h (Renovação do volume de ar do recinto por hora) e janelas sem sombreamento (SALES; AKUTSU; BRITO, 2014). São apresentados os dados referentes à sala, área que apresentou condições térmicas ligeiramente mais críticas.

Nas Figuras 2 e 3, são apresentados os valores máximos das temperaturas do ar no interior dos recintos em função de variações nas dimensões da planta da edificação. Nas Figuras 4 e 5, essas grandezas são apresentadas em função de alterações no pé-direito dos ambientes e, nas Figuras 6 e 7, em função da alteração na área envidraçada na fachada em relação à área de piso dos ambientes.

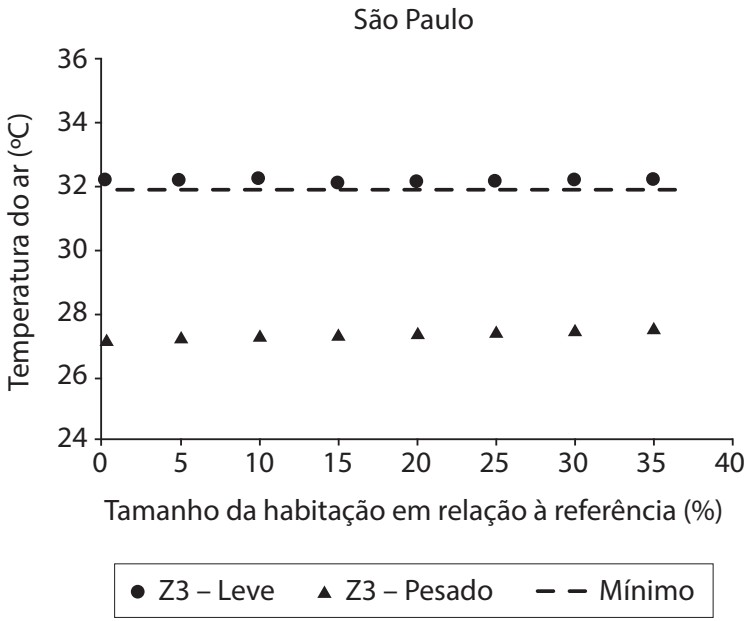


Figura 2. Temperatura máxima do ar interior de recinto habitacional em função do tamanho da edificação – Z3.

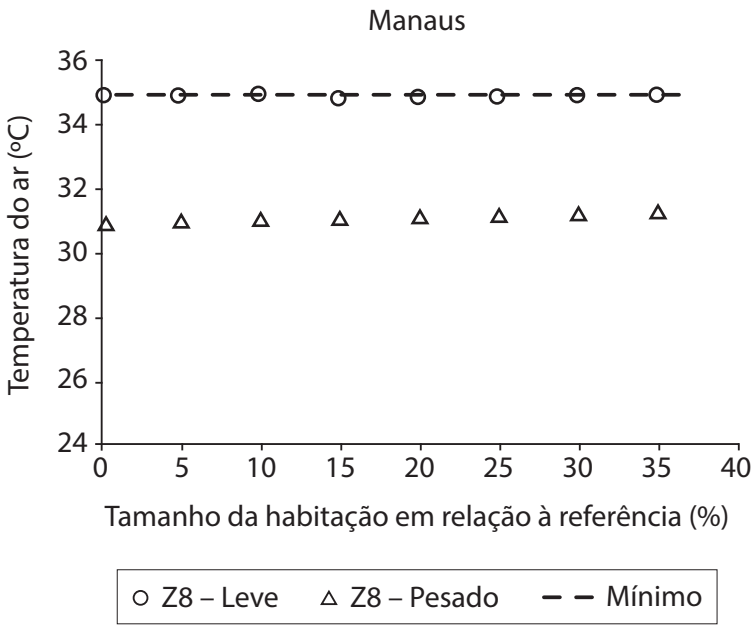


Figura 3. Temperatura máxima do ar interior de recinto habitacional em função do tamanho da edificação – Z8.

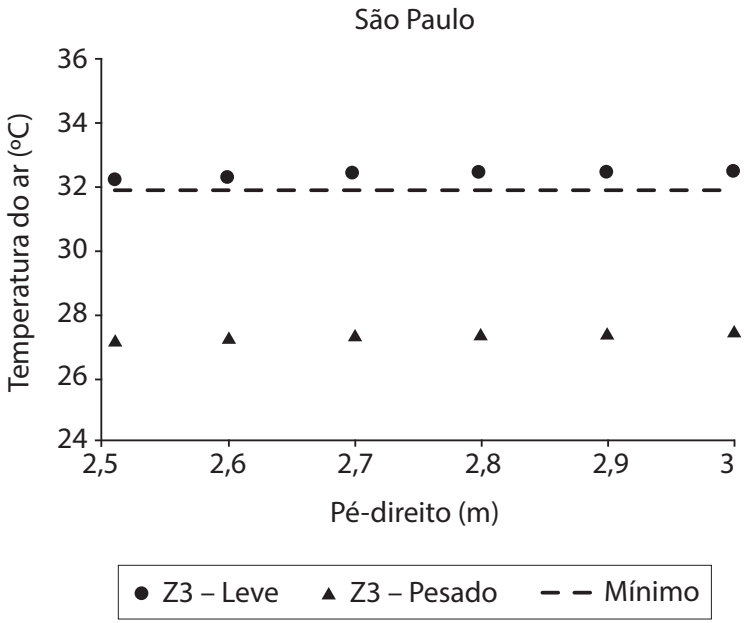


Figura 4. Temperatura máxima do ar interior de recinto habitacional no tamanho original em função do pé-direito da edificação – Z3.

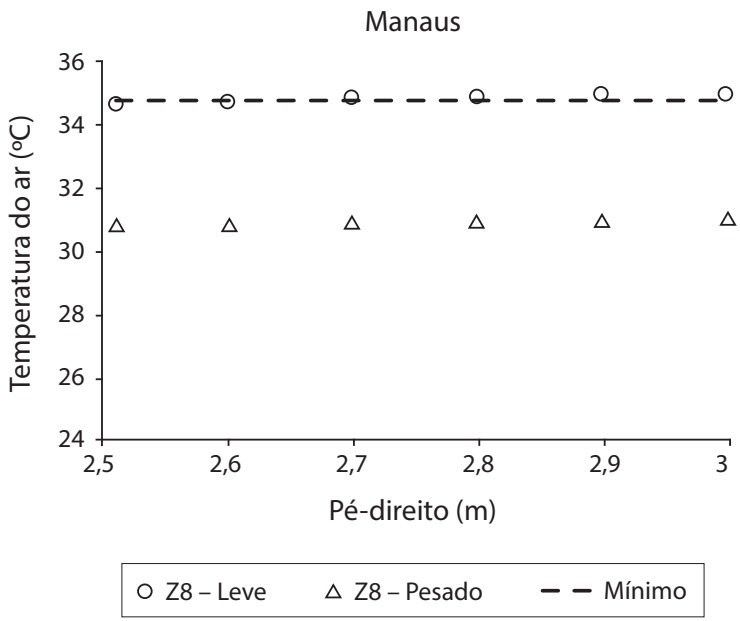


Figura 5. Temperatura máxima do ar interior de recinto habitacional no tamanho original em função do pé-direito da edificação – Z8.

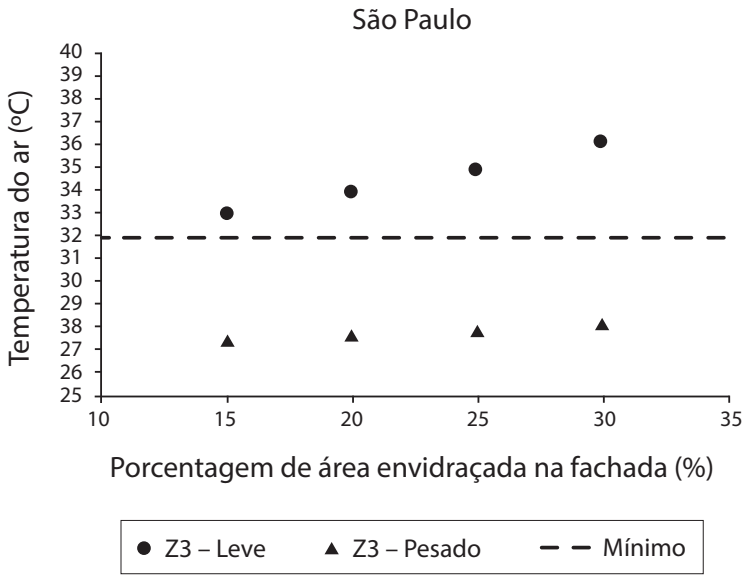


Figura 6. Temperatura máxima do ar interior de recinto habitacional em função da área envidraçada na fachada em relação à área de piso do recinto – Z3.

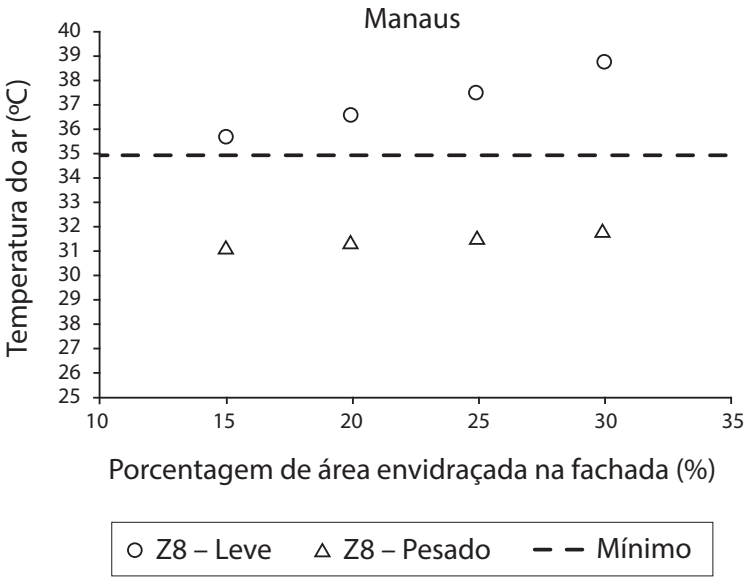


Figura 7. Temperatura máxima do ar interior de recinto habitacional em função da área envidraçada na fachada em relação à área de piso do recinto – Z8.

Os resultados indicam que o sistema construtivo teve um papel determinante no nível de desempenho térmico da habitação. Com o sistema construtivo "leve", obteve-se um valor da temperatura máxima do ar interior acima do valor máximo da temperatura do ar exterior, condição que não proporciona o atendimento do nível "Mínimo" de desempenho térmico. Em contrapartida, com o sistema construtivo "pesado", ocorreu uma redução expressiva no valor da temperatura máxima do ar interior em comparação com o valor da temperatura máxima do ar exterior, promovendo o atendimento do nível "Superior" de desempenho térmico em algumas situações.

Observou-se que efetuar variações proporcionais nas dimensões horizontais dos ambientes de habitações térreas de interesse social, reduzindo ou aumentando a sua área de piso em até 35% da área original, não produz efeitos significativos no seu desempenho térmico. Isso é válido somente se forem mantidas as demais características da habitação, especialmente as proporções entre a área envidraçada na fachada e a área de piso de cada recinto. Também é possível afirmar que, para este tipo de habitação, considerando-se um pé-direito mínimo nos ambientes de 2,5 m, variações de até 0,5 m não irão afetar o desempenho térmico dos ambientes de modo significativo.

Quanto à área envidraçada na fachada, verificou-se que o aumento desse fator, nas habitações com sistemas leves, afeta o desempenho térmico de modo mais significativo do que naquelas com sistemas pesados. Além disso, com uso de sistema construtivo leve, nos recintos em que exista área envidraçada na fachada correspondente a 15% da área de piso do ambiente, são obtidos valores da temperatura máxima do ar interior acima do valor máximo dessa grandeza que proporciona atender ao nível "Mínimo" de desempenho térmico.

Um acréscimo de 5% na área envidraçada da fachada em relação à área de piso do recinto pode acarretar na elevação da temperatura máxima do ar interno em 1 ºC, situação que irá depender das condições climáticas do local em que será implantada a edificação e das características do sistema construtivo.

Como a área envidraçada na fachada é um fator que produz efeitos mais significativos na resposta térmica dos ambientes, especialmente com os sistemas construtivos mais leves, em comparação com as outras questões abordadas, ela apresenta-se como um fator importante a se considerar na delimitação das condições de uso do método simplificado de avaliação do desempenho térmico de habitações. Isso é importante, principalmente, para as habitações

de interesse social, que não tem artifícios mais elaborados de projeto, os quais podem proporcionar a melhoria das condições térmicas em seu interior.

Mesmo considerando a possibilidade de aumentar a ventilação dos ambientes e acrescentar sombreamento às janelas, 15% de área envidraçada na fachada em relação à área de piso mostra-se um valor limite máximo para que uma edificação típica de interesse social tenha potencial de atender ao nível "Mínimo" de desempenho térmico.

Nesse sentido, recomenda-se que o método simplificado de avaliação do desempenho térmico de habitações seja utilizado somente para ambientes com área envidraçada na fachada de, no máximo, 15% da área de piso do recinto. Para edificações que não se enquadrem nesse requisito, deve ser feita avaliação do seu desempenho térmico pelo método detalhado.

1.2. Zona Bioclimática 8

Com o intuito de gerar contribuições para o aprimoramento dos critérios referentes à avaliação do desempenho térmico de habitações pelo método simplificado na Zona Bioclimática 8, foram efetuadas simulações da resposta térmica de sobrados cujos projetos foram obtidos da Companhia para o Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU, 1997).

As simulações foram feitas baseadas nos procedimentos da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), com 21 sistemas construtivos, dotados de características térmicas significativamente diferentes quanto à capacidade térmica e transmitância térmica de paredes e quanto à transmitância térmica de coberturas, como apresentado na Tabela 1 (BRITO et al., 2012). Foram analisados os resultados para o dormitório mais crítico do ponto de vista térmico, localizado no primeiro pavimento do sobrado, em contato com a cobertura da edificação. Os recintos foram ventilados a uma taxa de 5 Ren/h e comportavam janelas sombreadas, considerados artifícios que podem ser utilizados em habitações nesses moldes para melhorar as condições térmicas nos ambientes sem resultar, necessariamente, em maiores custos para os empreendedores.

Foram feitas avaliações dos sistemas construtivos também pelo método simplificado, evidenciando-se as situações em que a edificação atende aos critérios do método simplificado, mas não atendem aos critérios do método detalhado. Foram verificadas quais características dos sistemas construtivos seriam mais adequadas para obtenção de recintos com melhor desempenho térmico.

Tabela 1. Descrição de paredes e coberturas.

		Descrição a partir da Face Externa	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
Parede	1	Placa cimentícia com esp. de 1 cm, espaço de ar com esp. de 9 cm e gesso acartonado com esp. de 12,5 mm	x							x							x						
	2	Placa cimentícia com esp.de 1 cm, lã de rocha com esp. de 5 cm e gesso acartonado com esp. de 12,5 mm		x							x							x					
	3	Placa cimentícia com esp. de 1 cm, lã de rocha com esp. de 7,5 cm e gesso acartonado com esp. de 12,5 mm			x							x							x				
	4	Painel de concreto leve com esp. 5 cm, espaço de ar com esp. de 5 cm e gesso acartonado com esp. de 12,5 mm				x							x							x			
	5	Painel de concreto leve com esp. 5 cm					x							x							x		
	6	Painel de concreto leve com esp. 7,5 cm						x							x							x	
	7	Painel de concreto leve com esp. 10 cm							x							x							x
Cobertura	I	Telha cerâmica com esp. média de 2 cm, espaço de ar com esp. média de 40 cm e forro de gesso acartonado com esp. de 12,5 mm	x	x	x	x	x	x	x														
	II	Mesma configuração de I, com acréscimo de 5 cm de lã de rocha sobre o forro								x	x	x	x	x	x	x							
	III	Mesma configuração de I, com acréscimo de 10 cm de lã de rocha sobre o forro															x	x	x	x	x	x	x

Na Tabela 2, são apresentados os resultados obtidos a partir da avaliação dos sistemas construtivos (parede e cobertura) pelo método simplificado, com destaque às células em que os valores não atendem aos critérios da referida norma. Na Figura 8, são indicados os resultados obtidos pelo método detalhado, apresentando os valores máximos diários da temperatura do ar interior nos recintos e o valor máximo dessa grandeza para propiciar o atendimento do nível de desempenho térmico "Mínimo". Na Tabela 3, é apresentado um resumo com informações sobre o atendimento do nível de desempenho térmico "Mínimo", obtidas com o uso dos dois métodos.

Tabela 2. Características térmicas dos componentes.

Descrição		U [W/(m².K)]	C [kJ/(m².K)]
Parede (α* = 0,30)	1	2,75	28
	2	0,68	8
	3	0,48	8
	4	2,55	108
	5	4,86	100
	6	4,47	140
	7	4,14	200
Cobertura (α* = 0,65)	I	2,02	-
	II	0,57	-
	III	0,33	-

Na Tabela 2, com a avaliação pelo método simplificado, observa-se que há vários componentes construtivos que não atendem ao nível "Mínimo" de desempenho térmico (Paredes 5 a 7 e cobertura I).

Pelo método detalhado de avaliação, por meio de simulação computacional, como indicado na Figura 8, o nível "Mínimo" de desempenho térmico não é atendido por nenhuma das edificações com cobertura sem isolante térmico [U = 2,02 W/(m².K)]. Isso ocorre considerando-se todos os tipos de paredes, sejam mais leves ou mais pesadas.

Com a aplicação de 5 cm de isolante térmico na cobertura [U = 0,57 W/(m².K)], a edificação atende ao nível "Mínimo" de desempenho térmico nos sistemas construtivos "M" e "N", que têm paredes de maior capacidade térmica [140 a 200 kJ/(m².K)].

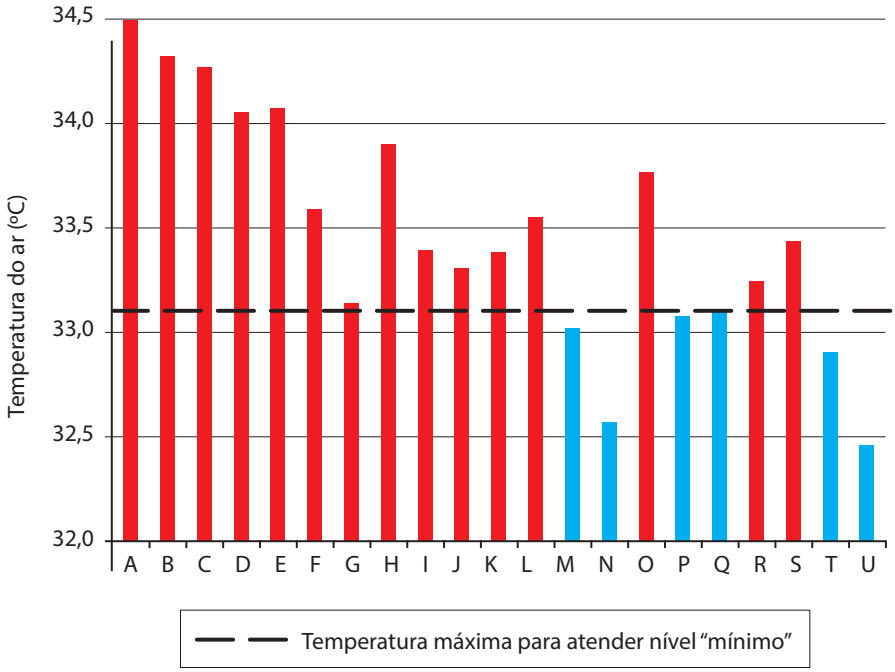


Figura 8. Temperaturas máximas do ar interior por tipologia e valor limite da temperatura do ar interior para obter o nível "Mínimo" de desempenho térmico na avaliação pelo método detalhado.

Com 10 cm de isolante térmico na cobertura, o nível "Mínimo" é atendido com uso dos sistemas construtivos providos de paredes com maior isolamento térmico [U = 0,68 W/(m^2.K)], com os sistemas "P" e "Q", bem como com paredes de maior capacidade térmica [C > 140 kJ/(m^2.K)], com sistemas "T" e "U".

Esses resultados indicam que, em um sobrado com padrão popular, sem recursos mais elaborados de projeto arquitetônico, para as condições climáticas de cidades com características típicas da Zona Bioclimática 8, é fundamental prever o uso de elementos isolantes térmicos na cobertura, além de garantir o sombreamento das janelas e a ventilação dos ambientes. O uso de isolantes térmicos na cobertura viabiliza tanto o emprego de paredes mais pesadas, mesmo com elevada transmitância térmica, como as paredes leves, as quais devem considerar também um acabamento externo em cores claras.

Na Tabela 3, verifica-se que os resultados da avaliação do desempenho térmico da edificação pelos dois métodos demonstram inconsistências.

Segundo o método simplificado, a habitação atende ao nível "Mínimo" de desempenho térmico com os sistemas construtivos "H", "I", "J", "K", "O" e "R", os quais não proporcionam o atendimento dos critérios referentes ao nível "Mínimo" do método detalhado, que corresponde a condições próximas do que ocorrerá em uma edificação construída.

Para a Zona Bioclimática 8, faz-se necessário rever os valores limite das propriedades térmicas de paredes e coberturas, com o intuito de não aprovar, pelo método simplificado, sistemas construtivos com pouco potencial em garantir edificações com desempenho térmico adequado na prática. Considerando-se que as edificações sem material isolante térmico na cobertura não proporcionam atendimento do nível "Mínimo" de desempenho térmico, independentemente do tipo de parede utilizado, é importante adotar um critério mais exigente, que estabeleça um valor da transmitância térmica da cobertura significativamente menor do que o valor apresentado na versão atual da norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

Coberturas com transmitância térmica [$U < 0,57$ W/(m^2.K)] viabilizam tanto o uso de paredes com elevada capacidade térmica [$C \geq 140$ kJ/(m^2.K)] e elevada transmitância [$U \geq 2,55$ W/(m^2.K)] como de baixa capacidade térmica [$C \leq 28$ kJ/(m^2.K)] e baixa transmitância térmica [$U \leq 0,68$ W/(m^2.K)]. Com base nessas informações, abre-se uma discussão referente aos valores limites exigidos para as propriedades térmicas das paredes no método simplificado.

O método simplificado de avaliação do desempenho térmico de edificações baseia-se em diretrizes gerais de projeto para a Zona Bioclimática 8 (ABNT, 2008), onde a inércia térmica da edificação precisa ser usada com ponderação para não prejudicar o desempenho térmico dos ambientes. Nesse contexto, a norma NBR 15575 (ABNT, 2013) aborda somente a transmitância térmica das paredes, fator ligado ao seu isolamento térmico, desconsiderando a sua capacidade térmica, fator relacionado à sua inércia térmica.

Todavia, em situações com alta isolação térmica da cobertura, é possível obter-se edificações com desempenho térmico adequado por meio do uso de paredes mais pesadas, ou seja, com maior capacidade térmica, além do uso de paredes leves, desde que seja garantida a ventilação dos recintos e o sombreamento das janelas.

Tabela 3. Resultados indicando o nível de desempenho térmico obtido com os métodos simplificado e detalhado de avaliação de desempenho térmico.

Sistema	Critérios do Método Simplificado	Critérios do Método Detalhado
A	Não atende	Não atende
B	Não atende	Não atende
C	Não atende	Não atende
D	Não atende	Não atende
E	Não atende	Não atende
F	Não atende	Não atende
G	Não atende	Não atende
H	Mínimo	Não atende
I	Mínimo	Não atende
J	Mínimo	Não atende
K	Mínimo	Não atende
L	Não atende	Não atende
M	Não atende	Mínimo
N	Não atende	Mínimo
O	Mínimo	Não atende
P	Mínimo	Mínimo
Q	Mínimo	Mínimo
R	Mínimo	Não atende
S	Não atende	Não atende
T	Não atende	Mínimo
U	Não atende	Mínimo

Em destaque, são indicados os elementos que atendem o nível "Mínimo", de acordo com o método simplificado, mas não atendem o nível "Mínimo", segundo o método detalhado.

Nesse sentido, vale retomar o conteúdo original da referida norma quando se tratava de um projeto datado do ano de 2003, o qual estabelecia em seu método simplificado de avaliação do desempenho térmico de habitações, para a Zona Bioclimática 8, que paredes externas deveriam ter uma capacidade térmica mínima de $C \geq 45$ kJ/(m².K).

Caso fosse adotado esse critério na atual versão da norma, os sistemas construtivos "H", "I" e "J" não seriam aprovados pelo método simplificado, por terem paredes com capacidade térmica desprezível, obrigando os avaliadores a utilizar o método detalhado. Tal procedimento evidenciaria a inadequação do sistema construtivo ao clima do local em virtude do não atendimento do critério "Mínimo" também pelo método detalhado.

Por outro lado, os valores limite adotados atualmente para a transmitância térmica de paredes no método simplificado mostram-se

pouco exigentes, especialmente com cores claras no acabamento externo, permitindo o uso de paredes com transmitância térmica de [U ≤ 3,7 W/(m².K)], em locais caracterizados por clima com predomínio de condições críticas de verão. Isso proporciona a aprovação de sistemas construtivos como o "K", pelo método simplificado, no qual as paredes apresentam transmitância térmica de [U = 2,55 W/(m².K)], mas que não apresenta desempenho térmico adequado quando analisado pelo método detalhado.

1.3. Recomendações

Na avaliação do desempenho térmico de habitações pelo método simplificado, propõe-se que seja adotada uma transmitância térmica máxima da cobertura da ordem de [0,6 W/(m².K)] para edificações localizadas em cidades da Zona Bioclimática 8.

Além disso, é importante que sejam definidos valores limites para as propriedades térmicas de paredes, no que se refere à sua capacidade térmica e à sua transmitância térmica, em função da isolação térmica da cobertura, contemplando tanto paredes mais pesadas, quanto paredes mais leves.

Na Tabela 4, são apresentados os valores sugeridos para a capacidade térmica e transmitância térmica de paredes e para a transmitância térmica de coberturas para edificações na Zona Bioclimática 8. Observa-se que, no caso de cobertura com alta isolação térmica, o efeito da cor da sua superfície externa no desempenho térmico da edificação é pouco significativo, motivo pelo qual o critério para coberturas não leva em conta tal parâmetro (BRITO; AKUTSU, 2015).

Quanto às fachadas, os valores sugeridos para as grandezas são referentes a paredes externas com cores claras, com absortância à radiação solar (α) menor ou igual a 0,30 (α ≤ 0,3), com área envidraçada na fachada de até 15 % da área de piso. Para paredes com maior absortância à radiação solar ou maior área envidraçada na fachada, é necessário efetuar a avaliação pelo método detalhado.

Para as demais Zonas Bioclimáticas, em que há critérios voltados a valores limites para a transmitância térmica de coberturas e paredes em função da absortância à radiação solar de suas superfícies externas, entre 0,6 ou 0,4, sugere-se a substituição desses valores por 0,5. Essa alteração se justifica por proporcionar uma uniformização de informações presentes em critérios do método simplificado e detalhado.

Tabela 4. Valores limite propostos para a transmitância térmica – U [W/(m².K)] de coberturas e fachadas e para a capacidade térmica de fachadas na Zona Bioclimática 8.

Cobertura	**Fachada***	
U [W/(m².K)]	U [W/(m².K)]	C [kJ/(m².K)]
0,35 < U ≤ 0,6	U ≤ 3,7	C ≥ 130
U ≤ 0,35	U ≤ 2,5	C ≥ 45

*Valores referentes a paredes externas com acabamento em cores claras, com absortância à radiação solar (α) menor ou igual a 0,30 (α ≤ 0,3), com área envidraçada na fachada de até 15 % da área de piso do ambiente. Para paredes com maior absortância à radiação solar ou maior área envidraçada na fachada, é necessário efetuar a avaliação pelo método detalhado.

No método detalhado, são consideradas cores claras aquelas com absortância à radiação solar menor ou igual a 0,3 (α ≤ 0,3), cores médias, com absortância entre 0, 3 e 0, 7 (0,3 ≤ α ≤ 0,7), e cores escuras, aquelas com absortância maior ou igual a 0,7 (α ≥ 0,7). Destaca-se que essa alteração não acarreta diminuição no rigor dos critérios, visto que um aumento ou redução da ordem de 0,1 no valor da absortância à radiação solar de uma superfície de componente construtivo não produz efeitos significativos na resposta térmica da edificação.

Nas Tabelas 5 e 6, são apresentados os valores da transmitância térmica de coberturas e paredes para as Zonas Bioclimáticas 1 a 7, com a referida mudança na absortância à radiação solar das superfícies, acrescentando-se, em nota, a referência à aplicabilidade do método a habitações com área envidraçada na fachada de, no máximo, 15 % da área de piso do ambiente.

Tabela 5. Valores da transmitância térmica de coberturas.

Transmitância térmica da cobertura (U) W/(m².K)		
Zonas 1 e 2	**Zonas 3 a 7**	
U ≤ 2,3	α* ≤ 0,5	α* > 0,5
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5

*absortância à radiação solar da superfície externa da cobertura. Cores claras geralmente são aquelas com absortância à radiação solar menor ou igual a 0,3 (α ≤ 0,3), cores médias costumam ter absortância entre 0,3 e 0,7 (0,3 ≤ α ≤ 0,7) e cores escuras, aquelas com absortância maior ou igual a ≥ 0,7 (α ≥ 0,7).

Tabela 6. Valores da transmitância térmica de paredes externas.

Transmitância Térmicade Paredes Externas (U) W/(m².K)**			Capacidade Térmica de Paredes Externas (CT) kJ/(m².K)**
Zonas 1 e 2		Zonas 3 a 7	Zonas 1 a 7
U ≤ 2,5	α* ≤ 0,5	α* > 0,5	≥ 130
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5	

*Absortância à radiação solar da superfície externa da parede. Cores claras geralmente são aquelas com absortância à radiação solar menor ou igual a 0,3 (α ≤ 0,3), cores médias costumam ter absortância entre 0,3 e 0,7 (0,3 ≤ α ≤ 0,7) e cores escuras, aquelas com absortância maior ou igual a ≥ 0,7 (α ≥ 0,7).
**Valores referentes a paredes com área envidraçada na fachada de até 15 % da área de piso do ambiente. Para paredes com maior área envidraçada na fachada, é necessário efetuar a avaliação pelo método detalhado.

Referências

AKUTSU, M.; BRITO, A.C.D.; CHIEPE, C.P. O efeito da capacidade térmica e da resistência térmica de paredes no desempenho térmico de habitação na cidade de São Paulo. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construido, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: Antac, 2012.

AKUTSU, M.; VITTORINO, F. Aplicação de Isolante Térmico em Edificações: Efeito no Conforto Térmico e nas Cargas Térmicas de Condicionamento de Ambientes. In: Encontro Nacional de Conforto Ambiental, 1990, Gramado. **Anais...** Gramado: Antac, 1990. p. 69-77.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15220:** Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575:** Edifícios Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BRITO, A.C.; AKUTSU, M; VITORINO, F.; AQUILINO, M.M. Contribuições para o aprimoramento da NBR 15575 referente ao método simplificado de avaliação de desempenho térmico de edifícios In Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ENTAC 2012), 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: Antac, 2012.

BRITO, A.C.; AKUTSU, M. Contribuição da cor da cobertura na melhoria do desempenho térmico de habitação no período de verão. In: XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC 2015), 2015, Campinas. **Anais...** Campinas: Antac, 2015.

BRITO, A.C. **Contribuição da inércia térmica na eficiência energética de edifícios de escritórios na cidade de São Paulo**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica de Energia de Fluidos) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3150/tde-13062016-102613/>.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL E URBANO – CDHU. **Caderno de Tipologias.** 1997.

CLARO, M.S. **Análise do efeito do envidraçamento sobre a eficiência energética de fachadas em edifícios de escritórios de grande porte na cidade de São Paulo.** 2010, 194 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, São Paulo, 2010.

DI PERNA, C.; STAZI, F.; CASALENA, A.U.; D'ORAZIO, M. Influence of the internal thermal inertia of the building envelope on summertime comfort in buildings with high internal loads. **Energy and Buildings**, v. 43, p. 200-206, 2011.

FERRARI, S. Building envelope and heat capacity: re-discovering the thermal mass for winter energy saving. In: 2nd PALENC Conference and 28th AIVC Conference on Building Low Energy Cooing and Advanced Ventilation Tecnologies in the first 21th Century, 2007, Crete. **Anais...** Crete, 2007. p. 346-351.

GRATIA, E.; HERDE, A. Design of low energy office buildings. **Energy and Buildings**, v. 35, p. 473-491, 2002.

HERDE, A.D.; GRATIA, E. A simple design tool for the thermal study of an office building. **Energy and Buildings**, v. 34, p. 279-289, 2002.

SALES, E.M..; AKUTSU, M.; BRITO, A.C. Efeito de variações no projeto de arquitetura de uma habitação no seu desempenho térmico In: XV encontro nacional de tecnologia do ambiente construído (ENTAC 2014), 2014, Maceió. **Anais...** Maceió: Antac, 2014.

SÃO PAULO (Cidade). **Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo; Lei nº 11.228, de 25 de junho de 1992.** Dispõe sobre as regras gerais e específicas a serem obedecidas no projeto, licenciamento, execução, manutenção e utilização de obras e edificações. São Paulo: Classe A, 1992.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-5953-029-2.2017C0004.p.65-98

4 Proposta de Procedimentos para Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações (NBR 15575 e SiNAT) – Método Detalhado

Adriana Camargo de Brito
Elisa Morandé Sales
Fúlvio Vittorino
Marcelo de Mello Aquilino
Maria Akutsu

1. Resumo das Etapas de Trabalho

Neste capítulo, é apresentada uma proposta de aprimoramento do método detalhado para solução dos problemas encontrados na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), que foram expostos no Capítulo 2. Para fundamentar a proposta, foram efetuadas as etapas indicadas nos itens 1.1 a 1.4. No item 2, é apresentada a proposta de procedimentos para a realização de avaliações pelo método detalhado.

1.1. Temperatura do Solo

Vários autores indicam a possibilidade de serem feitas correlações entre valores da temperatura do ar e os valores da temperatura do solo (COSTA; GODOY, 1962; GOEDERT,1971; KUSUDA, 1965; ALFONSI; SENTELHAS, 1996; AZEVEDO; GALVANI, 2003; VILELA, 2004; USDOE, 2015; FLORIDES; KALOGIROU, 2004). Essas correlações tornam possível estimar o valor da temperatura do solo a partir da temperatura

do ar do local, grandeza geralmente disponível com maior frequência em estações meteorológicas.

Autores como Alfonsi e Sentelhas (1996) e Azevedo e Galvani (2003),apresentam equações com a finalidade de se fazer o cálculo da temperatura do solo em cidades brasileiras, para várias profundidades, com base na temperatura média mensal do ar no local. Esses dados são utilizados para fins agrícolas, não havendo informações sobre sua adequação em simulações da resposta térmica de edificações.

Por outro lado, pré-processadores, como os do *Energy Plus*, o *Basement* e o *Slab*, são algumas das ferramentas mais avançadas para calcular valores da temperatura da superfície do solo em contato com o piso da edificação, a partir de simulações iniciais, utilizando valores médios mensais da temperatura do solo, a 50 cm de profundidade, disponíveis no banco de dados do programa *EnergyPlus,* como indicado no manual do programa. Inclusive, o uso desses pré-processadores é recomendado pelo manual do RTQR, regulamento técnico que estabelece parâmetros para avaliação da eficiência energética de habitações brasileiras. Entretanto, essa forma de se obter os dados de temperatura do solo ainda depende fortemente das decisões do avaliador, fato que não satisfaz a necessidade de padronização de dados climáticos para utilização em simulações relacionadas à avaliação de desempenho térmico de sistemas construtivos.

1.1.1. Método

A fim de verificar quais seriam os valores da temperatura do solo ou os mecanismos para estimá-la, foram efetuadas análises dos dados, disponíveis em literatura, referentes à temperatura do ar ou do solo em cidades brasileiras (INMET, 2015; USDOE, 2015; ABNT, 2013). Foram consideradas somente as cidades com dados disponíveis nessas três fontes para possibilitar comparações, são elas: Belém – PA; Belo Horizonte – MG; Boa Vista – RR; Brasília – DF; Campo Grande – MS; Curitiba – PR; Florianópolis – SC; Fortaleza – CE; Manaus – AM; Porto Velho – RO; Recife – PE; Rio de Janeiro – RJ; Salvador – BA e São Paulo – SP. Além disso, foram utilizados mecanismos desenvolvidos por pesquisadores brasileiros, que permitem estimar a temperatura do solo com base na temperatura do ar (ALFONSI; SENTELHAS, 1996; AZEVEDO; GALVANI, 2003).

A temperatura do solo, na sua superfície e em profundidades menores que 40 cm, sofre influência direta do ambiente exterior, como indicado por vários autores (COSTA; GODOY, 1962; GOEDERT,1971; KUSUDA, 1965; ALFONSI; SENTELHAS, 1996; AZEVEDO; GALVANI, 2003; VILELA, 2004). Isso significa que a temperatura da superfície do solo em contato com a área construída pode ser afetada também pelo desempenho térmico da edificação. Nesse contexto, para proporcionar uma padronização dos dados de entrada em programas de simulações da resposta térmica de edifícios, uma opção seria considerar valores de temperatura do solo em maior profundidade, por serem pouco afetados pelas variações de parâmetros ambientais externos.

Desse modo, foi efetuada uma análise dos valores da temperatura do solo ou mecanismos para sua obtenção nas profundidades de 40 cm e 50 cm (considerando-se que a diferença de 10 cm não produzirá alterações significativas no valor de sua temperatura). Não foram contemplados dados referentes a profundidades maiores que 50 cm, pois não há informações em todas as fontes, impossibilitando análises comparativas.

Como o intuito é propor valores da temperatura do solo para dias típicos de projeto em períodos de verão e inverno, selecionaram-se os maiores e os menores valores da temperatura média mensal do ar, obtidos nas normais climatológicas do INMET (2015) e nos arquivos do USDOE (2015). Esses valores foram utilizados nas equações de Alfonsi e Sentelhas (1996) e Azevedo e Galvani (2003) para obtenção da temperatura do solo em profundidade de 40 cm.

Quanto às temperaturas do solo apresentadas por USDOE (2015), foram escolhidos os valores médios mensais dessa grandeza, em profundidade de 50 cm, que correspondem aos meses em que há os maiores e os menores valores médios mensais da temperatura do ar. Efetuou-se esse procedimento, pois, geralmente, os valores da temperatura do solo são defasados em relação aos da temperatura do ar, devido à sua inércia térmica. Assim, os maiores valores da temperatura do solo não ocorrem, necessariamente, no mesmo mês em que há o maior valor da temperatura do ar. Na Figura 1, é apresentado um exemplo dessa ocorrência, a partir de valores das temperaturas médias mensais do solo e do ar obtidos no USDOE (2015) e temperaturas médias mensais do ar fornecidas pelo INMET (2015) para a cidade de São Paulo.

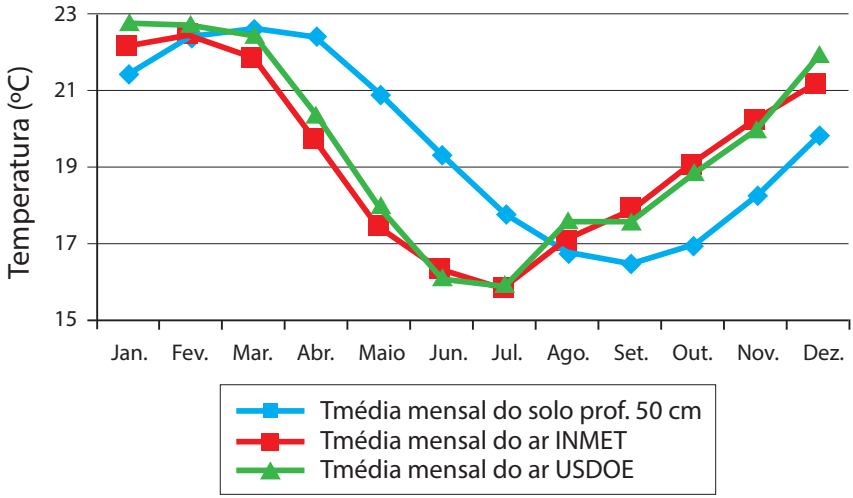


Figura 1. Temperaturas médias mensais do ar e do solo em São Paulo.

Na Figura 2, são apresentados os valores da temperatura do solo, resultantes das referidas equações; as temperaturas médias mensais do solo em profundidade de 50 cm, obtidas de USDOE (2015) e as temperaturas médias mensais do ar, conforme INMET (2015) e USDOE (2015). Na Figura 3, são apresentados os mesmo fatores para as temperaturas médias e mínimas do ar e do solo.

Os valores da temperatura do solo obtidos com as equações de Alfonsi e Sentelhas (1996) são significativamente maiores do que os apresentados pelo USDOE (2015), ficando acima, inclusive, do valor médio da temperatura do ar, sendo extremos para uma profundidade de 40 cm. Com as equações de Azevedo e Galvani (2003), os valores da temperatura do solo são mais próximos daqueles indicados pelo USDOE (2015), apontando a possibilidade de sua eventual utilização a fim de gerar valores de temperatura do solo para serem usados em simulações. Porém, dependendo da cidade, os valores para essa grandeza são maiores ou menores que os apresentados pelo USDOE (2015), não sendo possível identificar uma tendência.

Para a cidade de São Paulo (Figuras 2 e 3), cujos dados de temperatura do solo foram medidos por Vilela (2004), identificou-se que os valores da temperatura média do solo em profundidade de 50 cm, obtida por meio de interpolação de dados medidos pelo autor em outras profundidades, são da mesma ordem de grandeza dos valores apresentados pelo USDOE (2015).

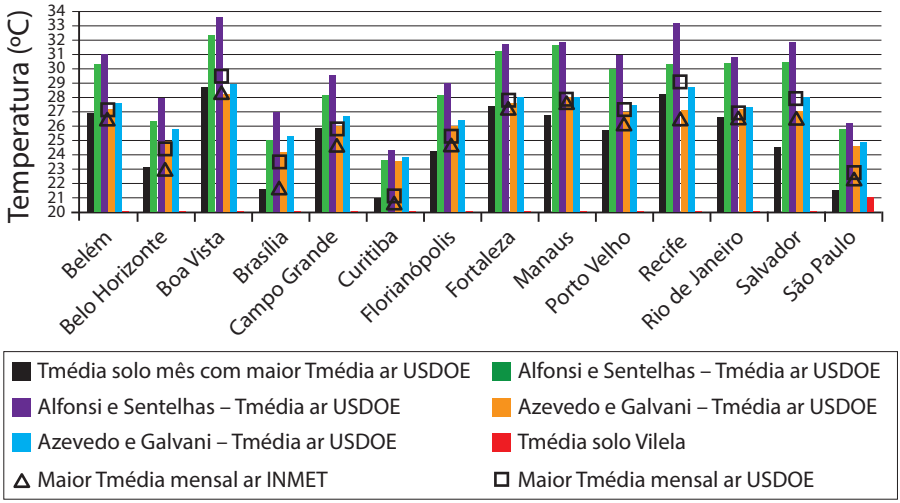


Figura 2. Temp. solo prof. 40 cm com as equações; Maior. temp. média mensal solo prof. 50 cm, USDOE (2015); Maior temp. média mensal do ar INMET (2015) e USDOE (2015).

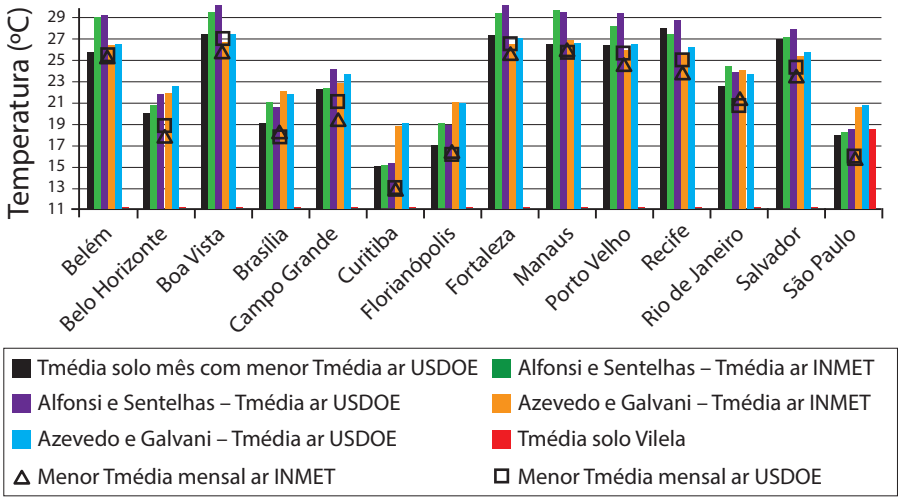


Figura 3. Temp. solo prof. 40 cm com as equações (2003); Menor temp. média mensal solo prof. 50 cm, USDOE (2016); Menor temp. média mensal do ar INMET (2015) e USDOE (2015).

Observou-se uma relação entre os valores da temperatura média mensal do solo apresentados pelo USDOE (2015), em profundidade 50 cm, e a temperatura média mensal do ar (INMET e USDOE). Porém, tal relação não é linear, não havendo dados suficientes para a obtenção de uma equação que a represente. As diferenças encontradas entre a temperatura média do solo e a temperatura média do ar variam de 0ºC a 2ºC, dependendo da cidade, com exceção dos dados de Salvador, lugar em que essa diferença chega a 3,4ºC.

Os valores fornecidos pelo USDOE quanto à temperatura do solo são, geralmente, obtidos por cálculos (cujas equações não são indicadas nos documentos dos dados climáticos) e constituem, praticamente, a única referência que se tem dessa grandeza para a realização de simulações computacionais da resposta térmica de edificações. Em relação à cidade de São Paulo, para a qual há dados adicionais medidos por Vilela (2004), observa-se uma consistência dos dados calculados pelo USDOE para essa localidade, uma vez que pertencem à mesma ordem de grandeza de dados medidos, o que indica a adequação do método de cálculo para a obtenção de valores da temperatura do solo.

As equações utilizadas para estimar a temperatura média do solo com base na temperatura média do ar, elaboradas por pesquisadores brasileiros (ALFONSI; SENTELHAS, 1996; AZEVEDO; GALVANI, 2003), não forneceram informações adequadas para a realização de simulações, seja por apresentarem valores extremos da temperatura do solo, seja por não haver uma tendência perceptível do comportamento dos dados obtidos em relação aos dados de outras fontes (USDOE, 2015).

Por outro lado, identificou-se uma relação entre os valores da temperatura média do solo (USDOE, 2015) e a temperatura média do ar (USDOE, 2015; INMET, 2015), porém com uma variação significativa, que chega a 2ºC, de modo geral. Considerando-se a possibilidade de, eventualmente, na ausência de dados medidos da temperatura do solo, utilizar a temperatura média do ar para compor a temperatura do solo em profundidade de 50 cm, seria necessário verificar qual o efeito que variações da ordem de 2ºC na temperatura do solo podem ter na resposta térmica da edificação. Outro fator a ser abordado é a forma de inserir os dados de temperatura do solo no programa computacional, fator que pode afetar de modo significativo o desempenho térmico dos recintos. Para elucidar esses

fatores, foram efetuadas simulações computacionais da resposta térmica de edificações em duas etapas, como descrito nos itens a seguir.

Efeito da Temperatura do Solo e sua Profundidade

Para verificar o efeito da temperatura do solo e da maneira de inserir esses dados no programa computacional, foram realizadas simulações computacionais de uma habitação térrea típica de interesse social (CDHU, 1997), exposta às condições climáticas de dias típicos de verão e de inverno da cidade de São Paulo, presentes na Norma NBR 15575 (ABNT, 2013), com temperaturas do solo de 21ºC a 34ºC no verão e de 4ºC a 18ºC no inverno, com intervalos de 2ºC. Esses valores compreendem duas unidades a mais que a temperatura máxima diária e duas unidades a menos que a temperatura mínima diária nos dias típicos de projeto de verão e inverno. As características climáticas dos dias típicos são indicadas na Tabela 1. O piso da edificação foi simulado com esses valores de temperaturas superficial do solo e em profundidades de 50 cm e 100 cm do solo.

A edificação foi simulada com dois tipos de paredes: uma utilizando chapa cimentícia na face externa e gesso acartonado na face interna e a outra com 15 cm de concreto comum, intitulados sistemas leve e pesado, respectivamente. A cobertura da edificação tem forro de gesso acartonado e telhado constituído de telhas cerâmicas. As simulações foram feitas com base na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), com a edificação ventilada a uma taxa de 1 Ren/h e janelas sem sombreamento, voltadas à direção oeste no verão e sul no inverno. Foram analisados os dados obtidos para a sala.

Adequação de Dados Disponíveis de Temperatura do Solo

Para verificar a adequação dos valores de temperatura do solo provenientes do USDOE (2015) e dos valores dessa grandeza adotando-se a temperatura média mensal do ar (INMET, 2015), foram realizadas simulações computacionais para reproduzir a resposta térmica de um protótipo, com dimensões 3,3 m × 4,3 m, para o qual se dispõe de dados medidos conforme descrito a seguir. As paredes são feitas de tijolos de barro revestidos com argamassa em ambas as faces, a cobertura tem forro de madeira e telhado em telhas cerâmicas. A janela possui vidro simples e transparente, com dimensões 1,2 m × 1,2 m, voltada para a direção sudeste,

sem elementos de proteção solar e uma porta de madeira com dimensões 0,8 m × 2,1 m.

O protótipo, construído no terreno do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo – IPT, foi objeto de medições de parâmetros ambientais que incluem temperatura do ar externo, interno e temperaturas superficiais de teto, paredes e piso, em vários períodos, com as janelas e portas fechadas, não estando mais disponível por ter sido demolido em função de demandas internas do instituto. Os dados das medições que foram selecionados correspondem ao terceiro dia de uma série de dias com características iguais, nos meses de abril e julho, que fazem parte de arquivo de medições do IPT.

A simulação da resposta térmica do protótipo foi obtida com a inserção de valores da temperatura do solo na superfície em contato com o piso da edificação e em profundidade de 50 cm, utilizando valores da temperatura do solo a partir de dados contidos no documento do USDOE (2015) e da temperatura do ar fornecida pelo INMET (2015). Foram utilizados valores médios mensais da temperatura do ar e do solo, presentes nas referidas fontes, para cada mês em que foram realizadas as medições (julho e abril). Os dados climáticos utilizados nas simulações são indicados na Tabela 1.

Tabela 1. Dados climáticos referentes aos dias das simulações.

Dia	Temp. máx. ar exterior (°C)	Temp. mín. ar exterior (°C)	Temp. média ar exterior (°C)	Radiação solar global – horizontal (W/m²)	Temperatura do solo[c] (°C)
23/abr[a]	29,0	17,1	21,8	3350[b]	22,4 (Média do solo, abril, USDOE, 2015)
					19,7 (Média do ar, abril, INMET, 2015)
19/jul[a]	23,0	8,1	16,2	2630[b]	17,8 (Média do solo, julho, USDOE, 2015)
					15,8 (Média do ar, julho, INMET, 2015)

[a] Dados obtidos por medições.
[b] Dados obtidos a partir do uso do programa *EnergyPlus*, com modelo de céu da ASHRAE e nebulosidade de 50%, correspondente a céu parcialmente encoberto.
[c] Temperatura na superfície e em profundidade de 50 cm. Solo com as seguintes características: condutividade térmica de 0,6 W/(m.K), massa específica de 1700 kg/m³ e calor específico de 840 J/(kg.K).

1.1.2. Resultados

Efeito da Temperatura do Solo e sua Profundidade

Na Figura 4, são apresentados os valores máximos diários das temperaturas do ar interior da sala de uma habitação em São Paulo, com dois sistemas construtivos em função da temperatura do solo e sua profundidade e, na Figura 5, são indicados os mesmos parâmetros em relação à temperatura mínima do ar interior no dia típico de inverno.

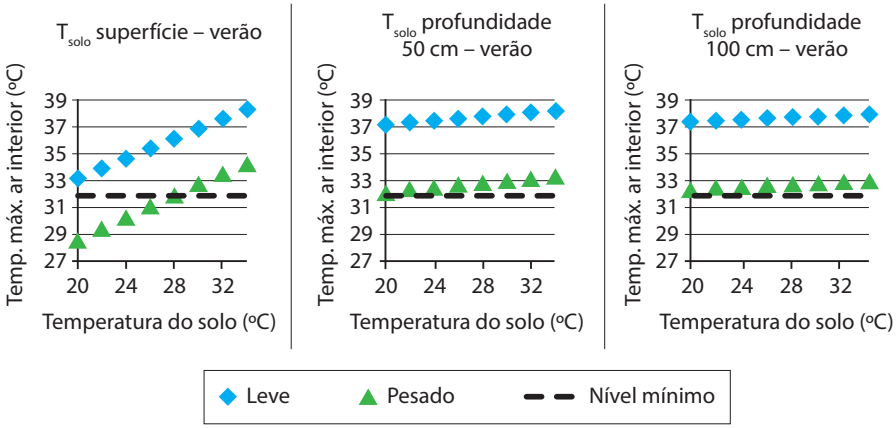


Figura 4. Temperatura máxima do ar interior de habitação em dia típico de verão com três sistemas construtivos em função da temperatura do solo em três profundidades.

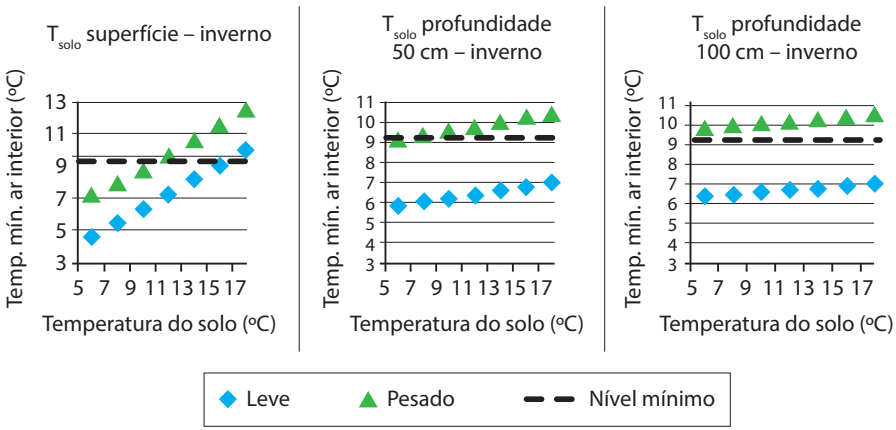


Figura 5. Temperatura mínima do ar interior de habitação em dia típico de inverno com três sistemas construtivos em função da temperatura do solo em três profundidades.

Nas simulações em que a temperatura do solo é atribuída à superfície externa do piso, há um efeito significativo na temperatura máxima ou mínima do ar interior em comparação com os casos com temperatura do solo em profundidade de 50 cm ou 100 cm. Uma variação de 2ºC na temperatura superficial do solo produz uma alteração da ordem de 1ºC no valor da temperatura máxima ou mínima do ar interior com sistema pesado e 1,7ºC com sistema leve. Isso repercute de modo mais significativo também no atendimento ao nível mínimo de desempenho térmico. Por outro lado, a mesma variação de 2ºC na temperatura do solo, mas simulada em profundidade de 50 cm e 100 cm, resulta em alteração menor que 0,2ºC. no valor da temperatura máxima ou mínima do ar interior.

Adequação de Valores Disponíveis da Temperatura do Solo

Nas Figuras 6 e 7, são apresentados os valores das temperaturas do ar externo, do ar interno e a temperatura superficial interna do piso, obtidos nas medições e simulações para dias em abril e julho, com valores de temperatura do solo provenientes de várias fontes, simulados em várias profundidades.

Nas simulações do dia 23 de abril (Figura 6), as temperaturas máximas do ar interior obtidas por simulações diferem dos valores medidos de 0,6ºC a 1,2ºC. A maior temperatura máxima do ar interior é obtida com dados de temperatura do solo do USDOE, em profundidade de 50 cm (25,2ºC), e a menor, com a temperatura superficial do solo como a temperatura média mensal do ar, por meio do INMET (19,7ºC). Nas situações com temperatura do solo em profundidade de 50 cm e com a temperatura superficial do solo oferecida pelo USDOE, as temperaturas máximas do ar interior apresentam a mesma ordem de grandeza (em torno de 25ºC), sendo a medida da temperatura máxima 24,2ºC. A temperatura superficial máxima do piso interno, nas simulações, difere dos valores medidos com variação de 0,5ºC a 1,3ºC.

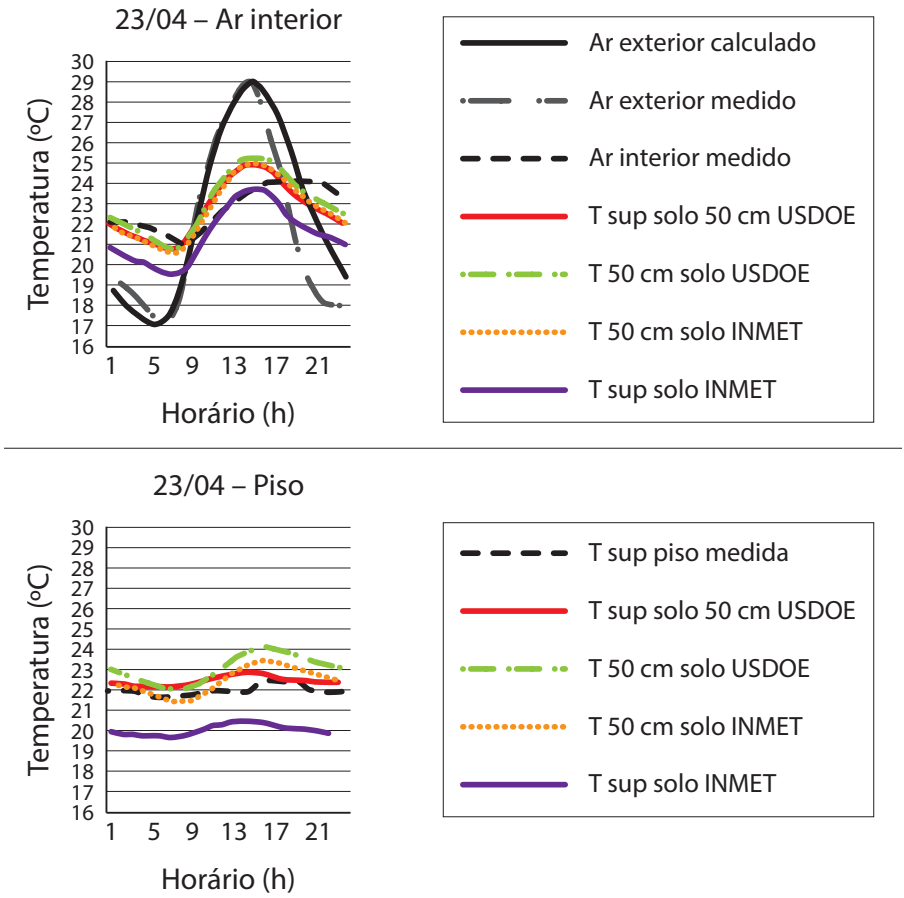


Figura 6. Temperatura do ar e do piso no dia 23/04.

Nas simulações para o dia 20 de julho (Figura 7), os resultados obtidos para a temperatura máxima e mínima do ar interior estão mais próximos dos valores medidos, com a temperatura superficial do solo de USDOE (17,8ºC). Nos demais casos, há uma diferença da ordem de 0,6ºC entre valores medidos e calculados da temperatura máxima do ar interior e, da ordem de 1,5ºC abaixo do valor mínimo medido. A temperatura superficial do piso interno difere dos dados medidos em até 2ºC, sendo os valores mais próximos dos medidos aqueles obtidos com a temperatura do solo de USDOE na superfície.

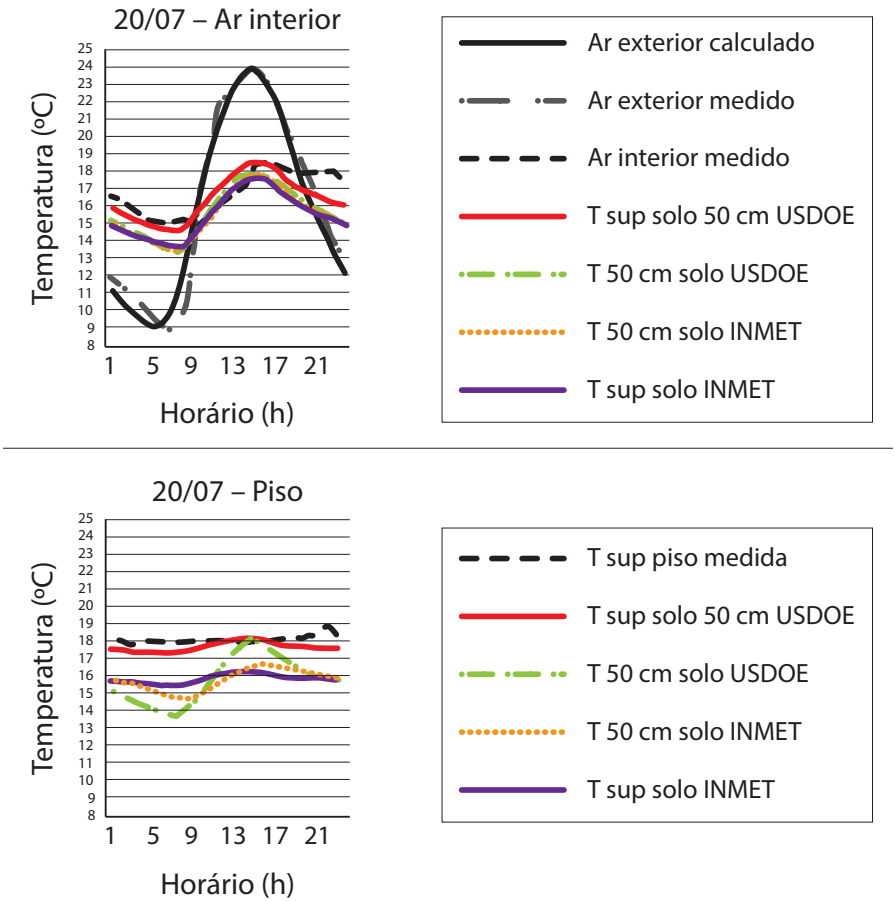


Figura 7. Temperatura do ar e do piso no dia 20/07.

Considerando-se que não foram feitos ajustes nos dados de entrada para que as temperaturas obtidas nas simulações fossem coincidentes com as obtidas nas medições, os dados obtidos para os dias de abril e julho, com os vários valores da temperatura do solo e profundidades, seriam aceitáveis por propiciarem valores da temperatura do ar interior da mesma ordem de grandeza dos valores medidos.

Conclusões

Quanto ao efeito da temperatura do solo e sua profundidade, observou-se que uma variação de 2ºC na temperatura do solo tem impacto pouco significativo na resposta térmica da edificação quando simulada em

profundidade de 50 cm. De modo geral, considerando-se que os dados de temperatura média mensal obtidos pelo INMET apresentam uma diferença de até 2ºC em relação aos dados de temperatura do solo obtidos pelo USDOE, nos casos em que não há informações sobre essa grandeza, pode-se adotar valores da temperatura média mensal do ar para compor valores da temperatura do solo nessa profundidade, sem comprometer o resultado da avaliação do desempenho térmico da edificação.

Quanto aos valores da temperatura do solo, independentemente da forma de simular a temperatura do solo, seja na superfície ou em maior profundidade, os resultados obtidos são da mesma ordem de grandeza, condição que torna possível utilizar qualquer um deles nas avaliações. Entretanto, considerando que, em maior profundidade, a temperatura do solo é pouco afetada pelas condições térmicas externas, simular a temperatura do solo em profundidade de 50 cm pode ser uma opção mais adequada.

1.1.3. Valores Sugeridos da Temperatura do Solo

Para compor dados de dias típicos de verão, para as cidades cujos dados climáticos foram abordados neste trabalho, selecionou-se a maior temperatura média mensal do ar (USDOE, 2015), escolhendo-se o valor da temperatura média do solo em profundidade de 50 cm no mês de referência. O mesmo procedimento foi feito para os dias típicos de inverno, considerando-se o menor valor da temperatura mínima mensal do ar. Para a realização das simulações, foi selecionado um dia em meados do mês, que apresentava a maior temperatura média mensal do ar para o verão e mínima para o inverno (dia 15).

Na Tabela 2, são apresentados os valores de referência da temperatura média mensal do solo e os dias do ano ideais para a realização das simulações computacionais da resposta térmica de edificações em dias típicos de verão e de inverno, constates na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), especialmente, com o intuito de padronizar dados de entrada a serem inseridos em simulações para a avaliação do desempenho térmico potencial de sistemas construtivos.

Para outros tipos de simulações, na ausência de dados de temperatura do solo, é possível utilizar valores da temperatura média mensal do ar obtidas no INMET, com o intuito de compor valores da temperatura do solo em profundidade de 50 cm, seguindo o procedimento descrito no primeiro parágrafo deste item, a fim de escolher meses representativos de verão e inverno.

Tabela 2. Dados sugeridos para a temperatura do solo em cidades brasileiras.

Cidade	Dia típico de verão		Dia típico de inverno	
	Dia do ano	Temp. média mensal do solo – prof. 50 cm[a]	Dia do ano	Temp.média mensal do solo – prof. 50 cm[a]
Belém	15/fev.	25,7	-	-
Belo Horizonte	15/fev.	23,0	15/jul.	20,0
Boa Vista	15/set.	28,6	-	-
Brasília	15/set.	21,5	15/jul.	19, 0
Campo Grande	15/jan.	25,8	-	-
Curitiba	15/fev.	20,8	15/jun.	15,1
Florianópolis	15/fev.	24,1	15/jul.	17,0
Fortaleza	15/jan.	27,3	-	-
Manaus	15/set.	26,7	-	-
Porto Velho	15/out.	25,7	-	-
Recife	15/mar.	28,2	-	-
Rio de Janeiro	15/fev.	26,5	-	-
Salvador	15/fev.	24,5	-	-
São Paulo	15/fev.	21,4	15/jul.	17,8

[a] Temperatura do solo em profundidade de 50 cm. Características do solo: condutividade térmica de 0,6 W/(m.K), massa específica de 1700 kg/m^3 e calor específico de 840 J/(kg.K).

1.2. Dias Típicos de Projeto das Zonas Bioclimáticas 2 e 5

Foram determinados os dias típicos de projeto para as cidades de São Lourenço – MG e Vitória da Conquista – BA, pertencentes, respectivamente, às Zonas Bioclimáticas 2 e 5, cujas informações de temperatura do ar, referentes ao período de 1981 a 2011, foram obtidas no INMET (2015). Os dados de radiação solar incidente no plano horizontal foram obtidos no CRESESP-CEPEL (2015). Essas cidades foram escolhidas em decorrência de disponibilidade de dados.

Foram determinados os meses de verão e de inverno designados como “mais quentes” e “mais frios”, tendo como referência as médias das temperaturas máximas diárias e as médias das temperaturas mínimas diárias, conforme método apresentado por Akutsu e Vittorino (1991). Posteriormente foram estabelecidos os valores da temperatura máxima e mínima diárias, que caracterizam dias típicos de verão e de inverno nos locais analisados, com frequência de ocorrência da ordem de 10% (AKUTSU;

VITTORINO, 1991). Com base nesses valores e nos valores de umidade relativa correspondentes, foram obtidos os valores da temperatura de bulbo úmido. Quanto à temperatura do solo, como recentemente houve uma atualização de dados de cidades brasileiras nos arquivos climáticos do *EnergyPlus*, foi extraída desta fonte a informação para a cidade de Vitória da Conquista (USDOE, 2017). Para a cidade de São Lourenço, por sua vez, foram utilizados dados do INMET (2015) referentes à temperatura média mensal do ar, conforme procedimentos citados anteriormente (Tabela 3).

Tabela 3. Dados de dias típicos de verão propostos para cidades nas Zonas Bioclimáticas 2 e 5.

Zona Bioclimática	**2**		**5**	
Cidade	São Lourenço – MG		Vitória da Conquista – BA	
Dia Típico	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Temp. Máxima Diária (°C)	31,8	19,2	31,7	20,4
Amplitude Diária da Temp. do Ar (°C)	11,7	16,6	10,3	9,7
Temp. de Bulbo Úmido (°C)	21,6	14,0	21,0	15,1
Radiação Solar Global – Plano Horizontal (Wh/m²)	5307	3595	5030	4110
Temp. Média Mensal do Solo em Prof. de 50 cm	23,4	16,2	21,9	20,5
Dia do Ano	15/fev.	15/jul.	15/fev.	15/jul.

1.3. Dados Climáticos de Cidades para Avaliações no SiNAT

Foi efetuada uma análise dos dados climáticos das cidades indicadas na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), com o intuito de identificar razões que possam justificar os diferentes comportamentos térmicos de edificações iguais expostas às condições climáticas de uma mesma zona. Também foram feitas simulações computacionais da resposta térmica de apartamento com vários sistemas construtivos, localizados no último pavimento da edificação, em contato com a cobertura e afastados do solo, sem a contribuição da sua inércia térmica, representando ambientes com condições térmicas mais críticas. São apresentados resultados somente para um tipo de sistema construtivo, com a intenção de ilustrar os fatores a serem abordados.

O projeto do apartamento foi obtido no documento elaborado pela CDHU (CDHU, 1997), que determina paredes com 10 cm de concreto comum, lajes de piso e de cobertura com a mesma espessura e material e telhado com telhas cerâmicas. Foram simulados, a partir dos procedimentos oferecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013), com ambientes ventilados a uma taxa de 1 Ren/h e janelas sem sombreamento, voltadas para a direção oeste no verão e sul no inverno. Foram analisados os resultados obtidos para a sala por terem sido considerados os mais críticos, sendo determinantes do nível de desempenho térmico obtido pela edificação.

Nas Figuras 8 e 9, são indicados os intervalos de temperatura do ar externo e radiação solar global nos dias típicos de verão para cidades das Zonas Bioclimáticas 3, 6, 7 e 8, e dias típicos de inverno para cidades da Zona Bioclimática 3. Na Figura 10, são apresentados, respectivamente, os valores máximos diários da temperatura do ar interior, obtidos nos recintos expostos às condições climáticas de cidades da Zona Bioclimática 8 e, os valores limites para atendimento ao nível "Mínimo" de desempenho térmico nos dias típicos de verão.

Na Figura 11, são apresentados os valores máximos da temperatura do ar interior nos ambientes em cidades das Zonas Bioclimáticas 3, 6 e 7, além dos valores mínimos diários da temperatura do ar interior em cidades da Zona Bioclimática 3, bem como os valores limites para atendimento ao nível "Mínimo" de desempenho térmico nos dias típicos de verão e de inverno.

A habitação atende o nível "Mínimo" de desempenho térmico em dias típicos de verão nas cidades de Belém, Vitória, Porto Velho, Manaus e Rio Branco, que possuem duas características marcantes: amplitude diária acima de 7ºC (Belém, Porto Velho e Rio Branco) ou radiação solar global menor que 5 kW/m² (Vitória). Nas demais cidades, nas quais o dia típico de projeto é caracterizado por amplitude diária menor que 7ºC e radiação maior que 5 kW/m², a habitação não atende o nível "Mínimo" de desempenho térmico. Isso mostra que há, pelo menos, dois grupos de cidades com características climáticas diferentes do ponto de vista do desempenho térmico de uma edificação, mas que constam na mesma Zona Bioclimática 8. É evidente que seria necessário analisar as condições climáticas de mais cidades para possibilitar a delimitação de novas zonas. Entretanto, essas informações permitem ao menos estabelecer referências para se avaliar o desempenho térmico na Zona Bioclimática 8 com maior precisão, reduzindo

a possibilidade de aprovar um sistema construtivo que atende o nível "Mínimo" de desempenho térmico em toda a Zona Bioclimática 8, quando na realidade, isso não é válido para todas as cidades que fazem parte dela.

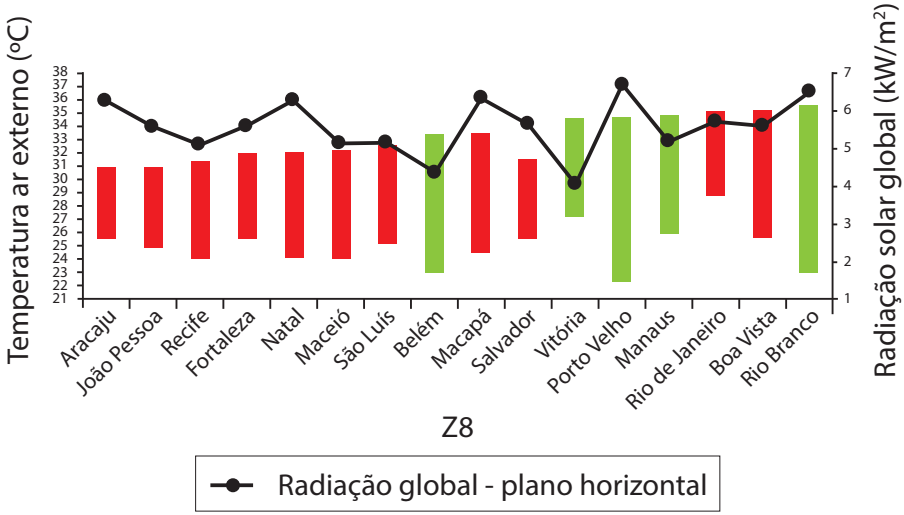


Figura 8. Temperatura do ar externo e radiação solar global incidente no plano horizontal para cidades da Zona Bioclimática 8, constantes na norma NBR 15575 (ABNT, 2013). Nota: Radiação solar global obtida no CRESESP-CEPEL para as cidades de Macapá e Boa Vista, pois não constam na norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

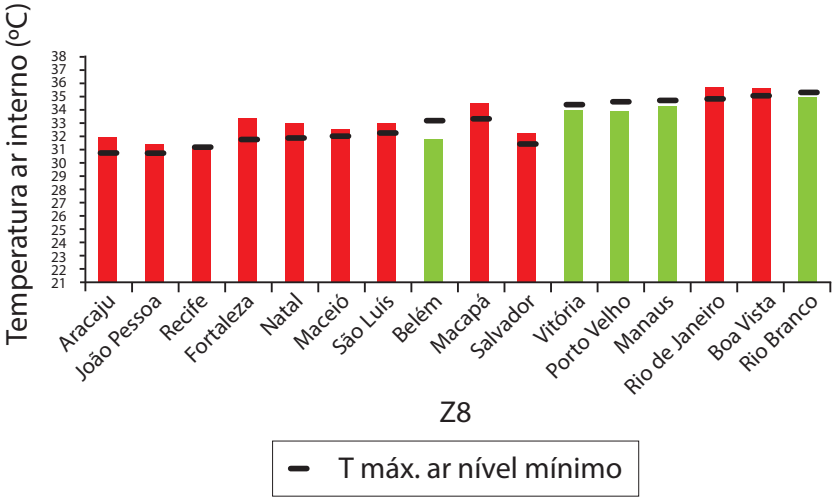
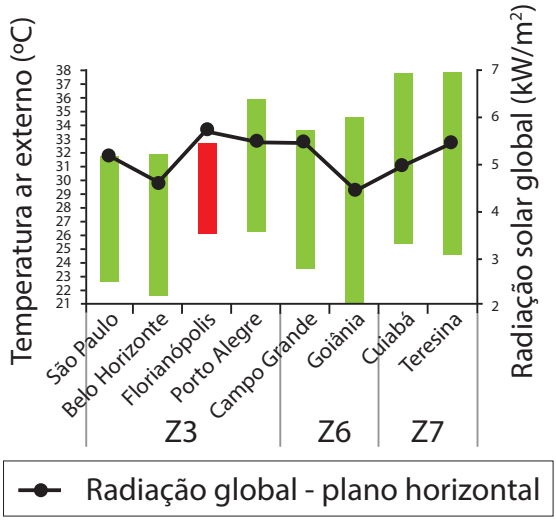


Figura 9. Temperatura máxima do ar interno obtidos na sala em apartamentos da Zona Bioclimática 8 e valor máximo da temperatura do ar para atender ao nível "Mínimo" de desempenho térmico.



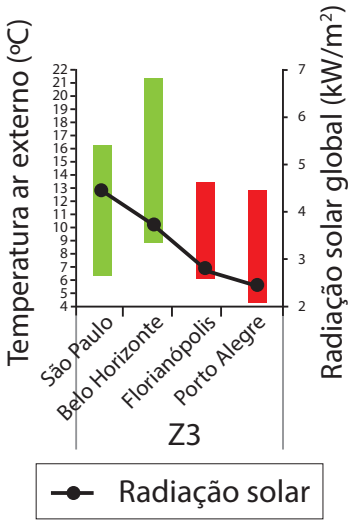
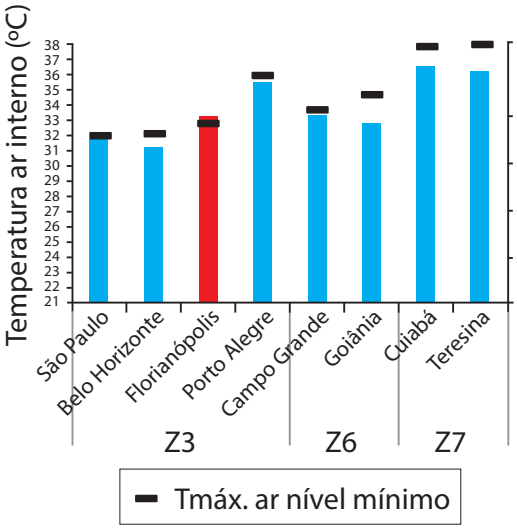


Figura 10. Temp. do ar externo e radiação solar global em cidades das Zonas 3, 6 e 7, constantes na norma NBR 15575 (ABNT, 2013) – dia típico de verão (à esquerda) e dia típico de inverno (à direita). Nota: Radiação solar global obtida no CRESESP-CEPEL para a cidade de Florianópolis, pois não consta na norma NBR 15575 (ABNT, 2013).



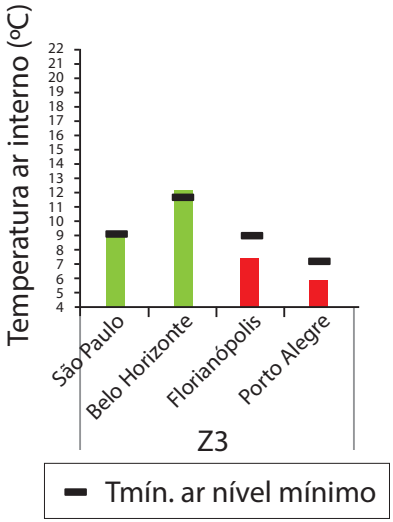


Figura 11. Temperatura máxima do ar interno obtidos na sala em apartamentos das Zonas Bioclimáticas 3, 6 e 7 (à esquerda) e Temperatura mínima do ar nos ambientes no inverno (à direita).

Problemas semelhantes ocorrem nas cidades da Zona Bioclimática 3, em que a habitação avaliada não atende o nível "Mínimo" de desempenho térmico em Florianópolis (no verão e inverno) e em Porto Alegre (no inverno). Isso indica que nessa zona há cidades com três climas diferentes. São Paulo e Belo Horizonte tem dias típicos de verão semelhantes (amplitude diária da temperatura do ar e radiação solar da mesma ordem de grandeza), embora em São Paulo o inverno seja mais rigoroso. Florianópolis tem um dia típico de verão com menor amplitude diária que as outras cidades (7,4ºC), o que já caracteriza um clima diferente, com inverno rigoroso. Porto Alegre apresenta grande amplitude diária e temperaturas do ar significativamente maiores no verão e menores no inverno.

Os dias típicos nas cidades das Zonas Bioclimáticas 6 e 7 apresentam as mesmas características, embora não seja possível garantir que outras cidades nessas zonas apresentem clima semelhante a elas.

1.3.1. Sugestões

No intuito de contornar os problemas encontrados no zoneamento, reduzindo a possibilidade de aprovar um sistema construtivo que não tenha características adequadas ao clima do local, para a Zona Bioclimática 8, podem ser escolhidas duas cidades a fim de se realizar avaliações no âmbito do SiNAT: uma com amplitude diária acima de 7ºC ou radiação solar global menor que 5 kW/m² (Belém, Vitória, Porto Velho, Manaus, Rio Branco) e outra com amplitude diária menor que 7ºC e radiação maior que 5 kW/m² (Aracaju, João Pessoa, Recife, Fortaleza, Natal, Maceió, São Luís, Macapá, Salvador, Rio de Janeiro, Boa Vista). A aprovação do sistema construtivo nas duas cidades indica maior probabilidade de atendimento ao nível "Mínimo" nas demais da Zona Bioclimática 8. Quanto à Zona Bioclimática 3, de modo análogo, poderiam ser adotadas duas cidades: com amplitude diária em dias típicos de projeto maior que 7ºC (São Paulo, Belo Horizonte e Porto Alegre) e menor ou igual a 7ºC (Florianópolis).

Outra possibilidade seria adotar um novo zoneamento, como o que é apresentado por Akutsu (1998), que leva em conta as temperaturas máximas e mínimas mensais e a amplitude anual da temperatura do ar. Embora esse zoneamento seja mais adequado que o apresentado na norma NBR 15220

(ABNT, 2008) para fazer avaliações do desempenho térmico de edificações, precisaria ser atualizado e complementado com a inclusão de informações sobre radiação solar.

1.4. Outras Variáveis de Simulação

Foram efetuadas discussões com a Instituição de Avaliação Técnica Falcão Bauer e com a Caixa Econômica Federal, visando à padronização de dados climáticos para a realização de simulações no âmbito do SiNAT. Com a Caixa, especificamente, foram desenvolvidos projetos de referência para as simulações, baseados nas dimensões típicas das habitações financiadas por esse órgão, bem como nas exigências de tamanhos de aberturas, além da padronização de aspectos inerentes ao sistema construtivo, como cores das superfícies externas de telhados e conteúdo mínimo de um relatório de avaliação de desempenho térmico.

2. Proposta de Procedimentos para Avaliar o Desempenho Térmico Potencial de um Sistema Construtivo

Na avaliação do desempenho térmico de edificações não climatizadas pelo método detalhado, conforme a norma NBR 15575 (ABNT, 2013), inicialmente deve-se selecionar a opção mais adequada ao objetivo da avaliação, como indicado nos itens a seguir:

a) Identificar o desempenho térmico de uma edificação específica a ser construída em determinado terreno;

b) Identificar o desempenho térmico potencial de um sistema construtivo.

Para avaliar uma edificação específica, como descrito no objetivo (a), podem ser abordadas todas as circunstâncias particulares da edificação, tais como: exposição ao microclima do local, forma e parâmetros físicos e térmicos da envoltória, sua implantação, orientação solar das fachadas, condições de ventilação dos ambientes, dentre outras. A edificação pode ser analisada por simulações computacionais ou medições.

Nas simulações, pode ser utilizado tanto o modelo simplificado de ventilação natural ou modelos complexos que indiquem a eficiência

da ventilação em função dos fatores geométricos da edificação, quanto a posição de aberturas e disposição de paredes. Nas medições, é necessário ter maiores cuidados para verificar qual é o rigor da avaliação, comparando as características do dia medido com os dias típicos de projeto (temperatura do ar externo, umidade relativa, velocidade do vento, radiação solar, incidente global, incidente no plano horizontal), além de analisar dados do terceiro dia de uma sequência de três dias. Os resultados da avaliação são aplicáveis exclusivamente à edificação avaliada, no local considerado, não podendo ser generalizados.

Para identificar o desempenho térmico potencial de um sistema construtivo, deve ser utilizado o método detalhado por simulações computacionais previsto na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), além dos procedimentos complementares indicados no item 2.1.

2.1. Simulações

Os procedimentos padronizados de ensaio incluem: condições climáticas de cidades representativas de cada Zona Bioclimática Brasileira; orientação solar das fachadas de dormitórios e salas; cores das superfícies externas das paredes e da cobertura; condições de ocupação e de ventilação dos ambientes, além da geometria da edificação (projetos padrão de ensaio).

É necessário que seja utilizado um programa de simulação computacional que apresente a resposta térmica de edificações considerando condições transientes de trocas térmicas, levando em consideração o efeito da inércia térmica. O programa *EnergyPlus* é reconhecido por fazer tais simulações, é de domínio público, sugerindo-se sua adoção para efetuar as simulações.

2.1.1. Condições Climáticas

Devem ser consideradas as condições climáticas para os dias típicos de projeto no verão e no inverno em cidades representativas das Zonas Bioclimáticas Brasileiras, de acordo com a Tabela 4. Deve-se adotar direção do vento perpendicular à fachada do ambiente analisado e velocidade do vento de 1 m/s como padrão para todas as cidades representativas das Zonas Bioclimáticas.

Tabela 4. Dados de dias típicos de verão e inverno.

Período	Zona Biocl.	Cidade	UF	Dia do ano	Temp. do solo – prof. 50 cm (°C)	Temp. Máx. Bulbo Seco (°C)	Amplitude diária da temp. do ar (°C)	Temp. Bulbo Úmido (TBS Máx.) (°C)	Radiação solar global incidente no plano horizontal (kW/m²)
Verão	1	Curitiba	PR	15/ fev.	20,8	31,4	10,2	21,3	2,77
	2	São Lourenço	MG	15/ fev.	23,4	31,8	11,7	21,6	5,30
	3	São Paulo	SP	15/ fev.	21,4	31,9	9,2	21,3	5,18
		Florianópolis	SC	15/ fev.	24,1	32,7	6,6	24,4	5,73[a]
	4	Brasília	DF	15/ set.	21,5	31,2	12,5	20,9	4,62
	5	Vitória da Conquista	BA	15/ fev.	21,9	31,7	10,3	21,0	5,03
	6	Cuiabá	MT	15/ out.	25,7	37,8	12,4	24,8	4,97
	7	Campo Grande	MG	15/ jan.	25,8	33,6	10	23,6	5,48
	8	Manaus	AM	15/ set.	26,7	34,9	9,1	26,4	5,18
		Recife	PE	15/ mar.	28,2	31,4	7,4	24,7	5,10
Inverno	1	Curitiba	PR	15/ jun.	15,1	12,3	11,6	11	1,66
	2	São Lourenço	MG	15/ jul.	16,2	19,2	16,6	14,0	3,59
	3	São Paulo	SP	15/ jul.	17,8	16,2	10	13,4	4,42
		Florianópolis	SC	15/ jul.	17,0	13,4	7,4	13,4	2,74[a]
	4	Brasília	DF	15/ jul.	19, 0	22,2	12,2	14,8	4,25
	5	Vitória da Conquista	BA	15/ jul.	20,5	20,4	9,7	15,1	4,11

[a] Radiação solar global de Florianópolis obtida no CRESESP-CEPEL, pois não consta na norma NBR 15575 (ABNT, 2013).
[b] Temperatura do solo para ser simulada em profundidade de 50 cm. Características do solo: condutividade térmica de 0,6 W/(m.K), massa específica de 1700 kg/m³ e calor específico de 840 J/(kg.K).

Observa-se que os resultados das avaliações do desempenho térmico de edificações nas cidades indicadas nas referidas tabelas podem ser estendidos a outras cidades, desde que alocadas na mesma Zona Bioclimática considerada na avaliação. Para as zonas bioclimáticas que têm duas cidades indicadas, a edificação deve atender ao nível "Mínimo" em ambas para que os resultados sejam estendidos às outras cidades da Zona. Caso isso não ocorra, os resultados serão válidos somente para a cidade na qual o sistema construtivo foi aprovado. Caso sejam utilizados dados geográficos e climáticos diferentes dos apresentados nas referidas tabelas, os resultados da avaliação não serão aceitos.

2.1.2. Projeto Padrão de Ensaio

Devem ser considerados os projetos padrão de ensaio indicados no Anexo, que incluem casa térrea isolada e geminada, casa sobreposta e apartamento. Caso seja necessário avaliar um sobrado, pode ser analisada a casa térrea geminada, simulada com o piso em contato com outra edificação idêntica em vez de estar em contato com o solo.

2.1.3. Simulações dos Ambientes

O projeto da unidade habitacional deve ser simulado por completo, com cada ambiente representando uma zona térmica. Adotar a situação mais crítica de exposição à radiação solar, como disposto a seguir:

a) Apartamento ou ambiente localizado no último pavimento, com sala e dormitório em contato com a cobertura da edificação;

b) Ambiente sala e ambiente dormitório com maior área envidraçada na fachada, com janela voltada para a direção oeste e uma parede para norte, no período de verão. No período de inverno, a janela deve ser voltada para a direção sul e uma parede para leste;

c) Ambiente sala e ambiente dormitório com o maior número de paredes expostas ao clima, tanto no verão quanto no inverno.

d) As simulações são realizadas para os dois ambientes, sala e dormitório, posicionados individualmente na situação mais crítica. Isso significa que deve ser feita uma primeira simulação, posicionando-se a sala na situação mais crítica, e uma segunda simulação, posicionando-se o dormitório na situação mais crítica. Em ambas as situações, são obtidos os resultados para todos os ambientes, adotando-se, para efeito da análise, os resultados mais desfavoráveis.

2.1.4. Absortância à Radiação Solar de Superfícies

Considerar superfícies externas das fachadas em cores claras, médias e escuras, com absortância à radiação solar de 0,3, 0,5 e 0,7, respectivamente, e superfícies externas das telhas do telhado, conforme indicado na Tabela 5.

Tabela 5. Absortância à radiação solar de superfícies externas de telhados ou coberturas.

Tipo de cobertura ou cor	Absortância da superfície externa da cobertura
Cerâmica	0,7
Fibrocimento	0,7
Concreto	0,7
Cobertura em cor clara, com absortância de 0,3	0,5
Cobertura em cor média, com absortância de 0,5	0,7
Cobertura em cor escura, com absortância de 0,7	0,9

É obrigatória a apresentação de resultados de simulações considerando as absortâncias das superfícies da cobertura previstas nesta tabela, que representam condições que poderão ser encontradas em coberturas "envelhecidas".

2.1.5. Ático

As simulações devem ser realizadas considerando ático "não ventilado", com as dimensões previstas nos projetos padrão. Caso o sistema construtivo da cobertura necessite de uma inclinação diferente daquelas indicadas nos projetos, essa informação deve ser destacada no relatório da avaliação, incluindo as dimensões utilizadas.

2.1.6. Pé-direito

Utilizar o pé-direito indicado nos projetos padrão. Caso o sistema construtivo não contemple forro, adotar a inclinação do telhado do projeto padrão. Para coberturas sem forro e com inclinação diferente da prevista no projeto padrão, essa informação deve ser destacada no relatório da avaliação, incluindo as dimensões utilizadas.

2.1.7. Ocupação

Os recintos devem ser simulados sem a presença de pessoas, equipamentos e iluminação, de modo a se obter informações somente da resposta térmica da edificação, decorrente da sua interação com o clima do local.

2.1.8. Sombreamento de Janelas e Ventilação de Ambientes

Os recintos devem ser simulados considerando as quatro situações apresentadas abaixo para o período de verão e a situação apresentada para o período de inverno. Devem ser utilizados os modelos de ventilação simplificados que permitem a inclusão do número de renovações do ar nos ambientes, padronizado pela norma NBR 15575 (ABNT, 2013). Ressalta-se a importância desse fator para padronização do ensaio, pois tais modelos não levam em conta especificidades da geometria.

Período de Verão

a) Ambiente com ventilação a uma taxa de 1,0 Ren/h (uma renovação do volume de ar do ambiente por hora), durante as 24 horas do dia, com janelas sem sombreamento. Considerar a área total da janela como envidraçada, ou seja, sem sombreamento. Essa condição de simulação é denominada como condição padrão, "PADRÃO";

b) Janelas sombreadas, ou seja, com proteção solar, como cortinas ou outros elementos, que impeçam a entrada de radiação solar direta ou reduzam em 50% a incidência da radiação solar global no ambiente. Considerar o ambiente com ventilação a uma taxa de 1,0 Ren/h (uma renovação do volume de ar do ambiente por hora), durante as 24 horas do dia. Essa condição de simulação é denominada como condição com sombreamento, "SOMB";

c) Ambiente ventilado a uma taxa de 5,0 Ren/h (cinco renovações do volume de ar do ambiente por hora), durante as 24 horas do dia. Considerar a janela com sua área total envidraçada, ou seja, sem sombreamento. Essa condição de simulação é denominada como condição com ventilação, "VENT";

d) Simulação com a combinação das duas opções anteriormente expostas em "b" e "c", ou seja, condição com sombreamento e ventilação, denominada como "SOMB + VENT". Considerar, portanto, ambiente ventilado a uma taxa de 5,0 Ren/h e janelas sombreadas, ou seja, com proteção solar que impeça a entrada de radiação solar direta ou reduzam em 50% a incidência da radiação solar global no ambiente.

Período de Inverno

Ambiente com ventilação a uma taxa de 1,0 Ren/h (uma renovação do volume de ar do ambiente por hora), durante as 24 horas do dia, com janelas sem sombreamento, ou seja, considerar a janela com sua área total envidraçada. Essa condição de simulação é denominada como condição padrão, "PADRÃO".

2.1.9. Análise dos Resultados

Analisar a resposta térmica tanto de salas como de dormitórios, ou seja, dos ambientes de ocupação prolongada, que apresentem condições mais críticas de exposição à radiação solar no período considerado.

Para que se considere que a habitação atende aos critérios referentes ao nível mínimo de desempenho térmico previsto na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), é necessário que salas e dormitórios atendam o nível mínimo de desempenho térmico no verão e no inverno, como disposto a seguir:

a) Atendimento ao nível de desempenho térmico mínimo no verão: o nível mínimo (M) é atendido quando o valor máximo diário da temperatura do ar interior é menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior;

b) Atendimento ao nível de desempenho térmico mínimo no inverno: o nível mínimo (M) é atendido quando o valor mínimo diário da temperatura do ar interior é maior ou igual ao valor mínimo diário da temperatura do ar exterior acrescido de 3ºC.

c) Para informações sobre os critérios referentes aos outros níveis de desempenho térmico, consultar o Anexo E da parte 1 da norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

2.1.10. Informações Básicas do Relatório da Avaliação

a) Projeto arquitetônico da edificação, incluindo plantas, cortes e vistas. Os cortes devem apresentar seções do ático, se houver;

b) Descrição do sistema construtivo e da edificação considerada (paredes, cobertura, pisos, janelas, portas), destacando detalhes das paredes, de seus componentes e revestimentos, cor da cobertura, pé-direito, área envidraçada na fachada em relação à área de piso dos ambientes (Tabela 6);

c) Detalhamento do sistema construtivo, disposição e espessuras de camadas;

d) Propriedades térmicas e físicas dos materiais que compõem o sistema construtivo, como condutividade térmica, calor específico, massa específica e emissividade das superfícies;

e) Descrição do método utilizado na avaliação (ABNT, 2013);

f) Apresentação de tabelas com os resultados do atendimento a critérios referentes aos níveis de desempenho térmico da habitação no período de verão e no período de inverno (Tabelas 7 e 8). Deve haver uma legenda com a indicação das cores que representam os níveis de desempenho térmico;

g) Indicação do resultado final da avaliação em uma tabela contendo o resumo de todas as condições que proporcionam o atendimento aos níveis de desempenho, como indicado no exemplo da Tabela 9;

h) Conclusão com a indicação clara do atendimento ou não a critérios referentes aos níveis de desempenho térmico constantes na norma. Assinatura de um responsável técnico.

Tabela 6. Área envidraçada na fachada dos ambientes por tipologia.

Ambiente	Casa Térrea	Casa térrea geminada	Casa sobreposta	Apartamento
Dorm. Casal	15%	20%	15%	15%
Dorm. Solt.	18%	28%	18%	18%
Sala e Coz.	22%	21%	22%	18%

Tabela 7. Resultados da avaliação do desempenho térmico da edificação no verão.

Zona Bioclimática	Temp. máx. ar ext.	Cor da parede ext.	Dormitório/Condição				Sala/Condição			
			CP	Somb.	Vent.	Somb. + Vent.	CP	Somb.	Vent.	Somb. + Vent.
X	Valor	Clara	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
		Média	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
		Escura	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
–	Valor	Clara	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
		Média	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
		Escura	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor

– nível de desempenho térmico abaixo do "Mínimo";
– nível de desempenho térmico "Mínimo";
– nível de desempenho térmico "Intermediário";
– nível de desempenho térmico "Superior".

Tabela 8. Resultados da avaliação do desempenho térmico da edificação no inverno.

Zona Bioclimática	Temp. máx. ar ext.	Cor da parede ext.	Dormitório/condição	Sala/condição
			CP	CP
1	Valor	Clara	valor	valor
		Média	valor	valor
		Escura	valor	valor
–	Valor	Clara	valor	valor
		Média	valor	valor
		Escura	valor	valor

– nível de desempenho térmico abaixo do "Mínimo";
– nível de desempenho térmico "Mínimo";
– nível de desempenho térmico "Intermediário";
– nível de desempenho térmico "Superior".

Tabela 9. Resumo dos resultados da avaliação do desempenho térmico da edificação com indicação do atendimento ao nível "Mínimo" de desempenho.

Zona Bioclimática	Cor do acabamento externo das paredes			
	Condição padrão	Com sombreamento	Com ventilação	Com sombreamento e ventilação
1	Atende com cor clara ou média	Atende com cor clara ou média	Atende com cor clara ou média	Atende com qualquer cor
–	Atende com qualquer cor	Atende com qualquer cor	Atende com qualquer cor	Atende com qualquer cor

2.1.11. Informações Básicas do DATec

O DATec deve reunir as tabelas com o resultado das condições em que a habitação atende, pelo menos, o nível "Mínimo", além de disponibilizar uma descrição sucinta da tipologia e características da habitação avaliada, incluindo a cor da cobertura, altura do ático, se houver, pé-direito, área envidraçada na fachada em relação à área de piso dos ambientes. A avaliação será válida somente para edificações com as características descritas no DATec. Caso o construtor necessite fazer uma habitação com um projeto com maior área envidraçada na fachada ou cor mais escura na cobertura, por exemplo, será necessário fazer uma nova avaliação do projeto específico.

Anexos – Projetos padrão de ensaio

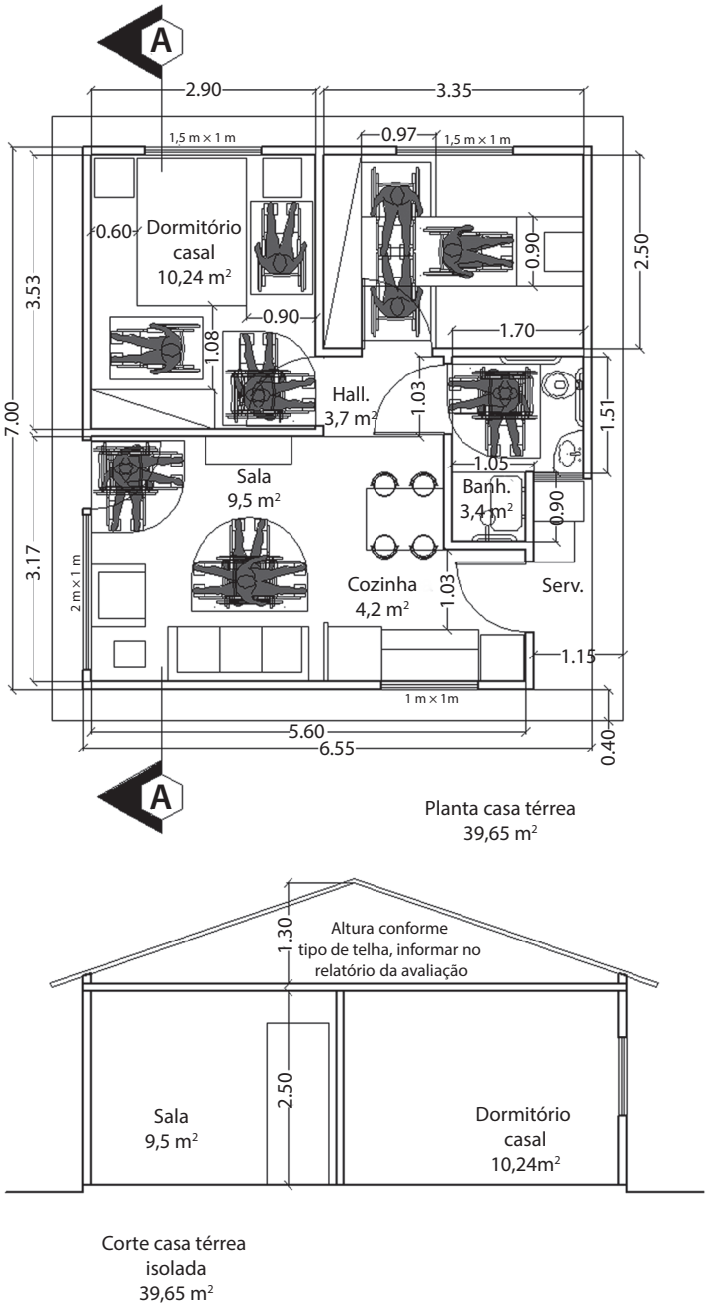


Figura A1. Projeto de casa térrea.

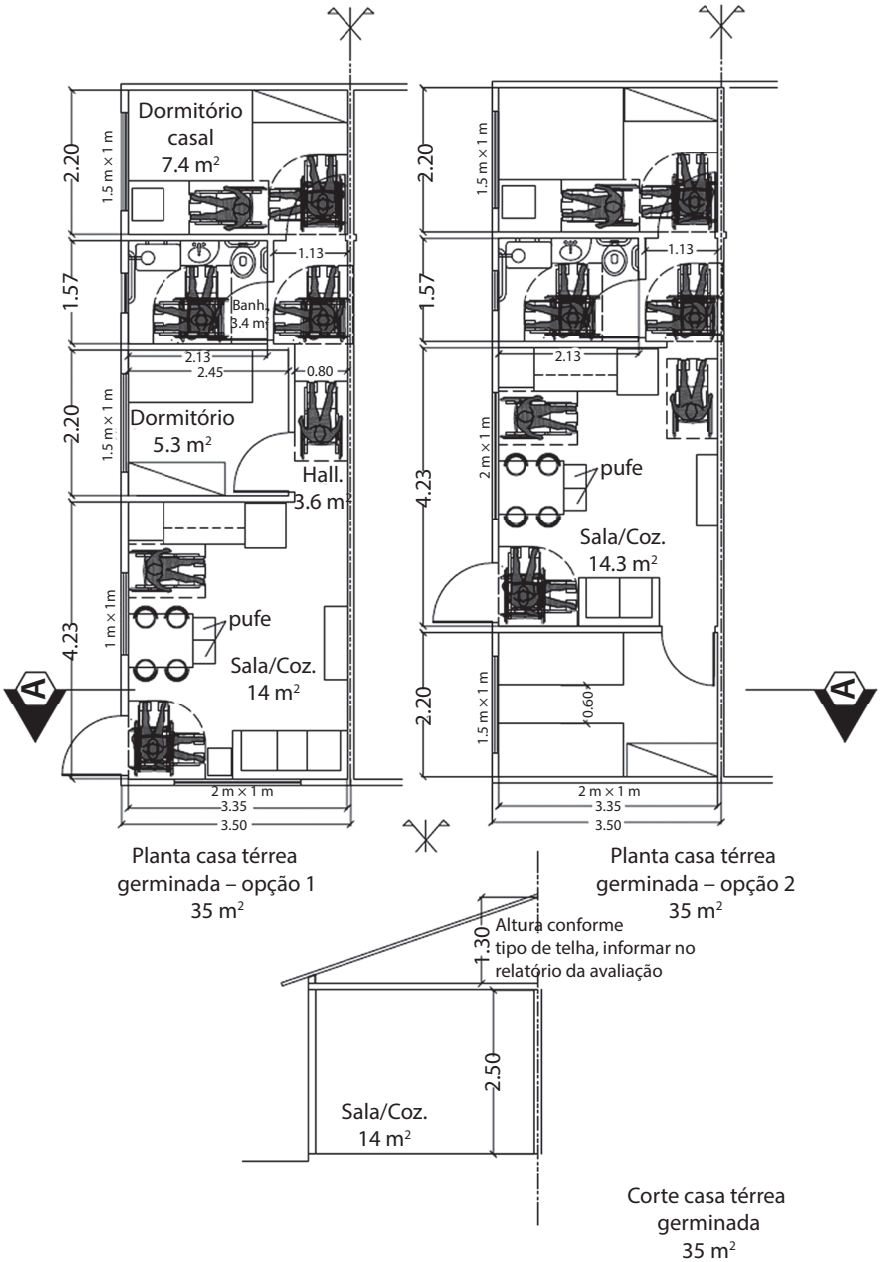


Figura A2. Projeto de casa térrea geminada.

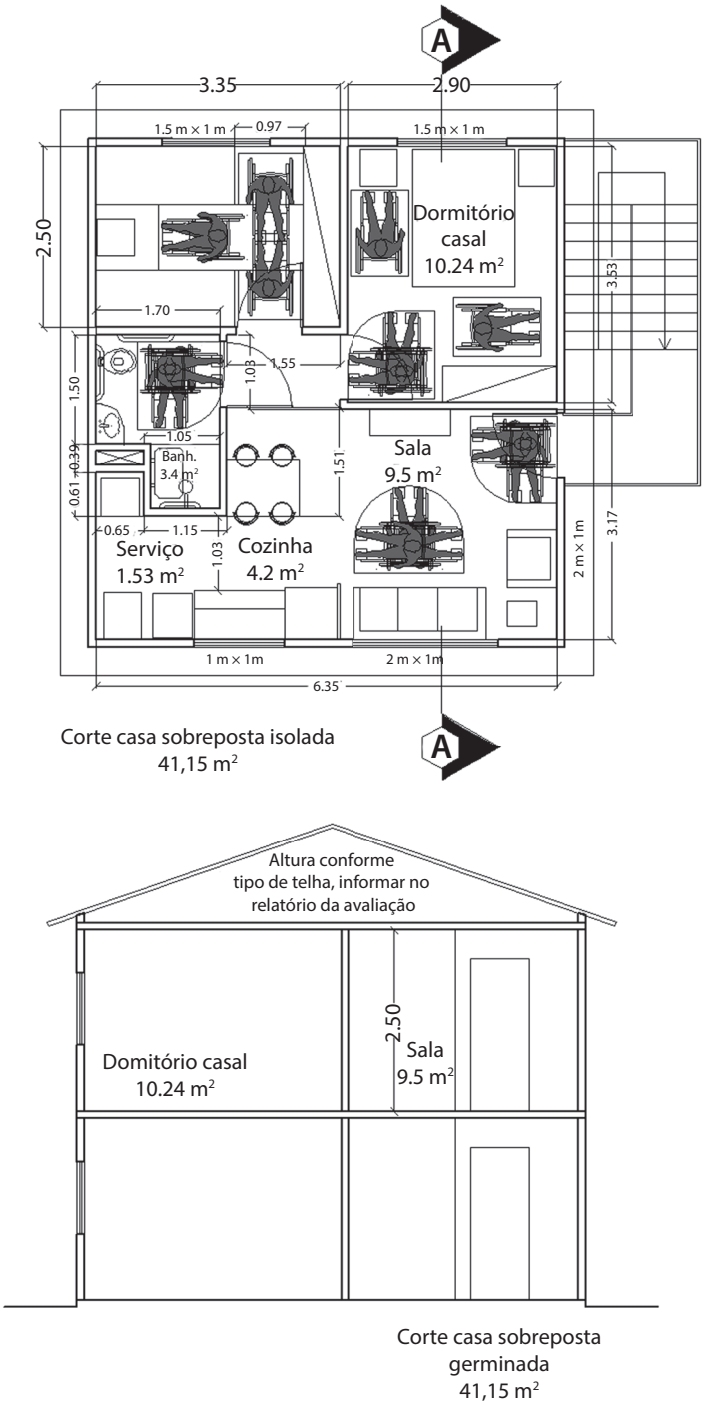


Figura A3. Projeto de casa sobreposta.

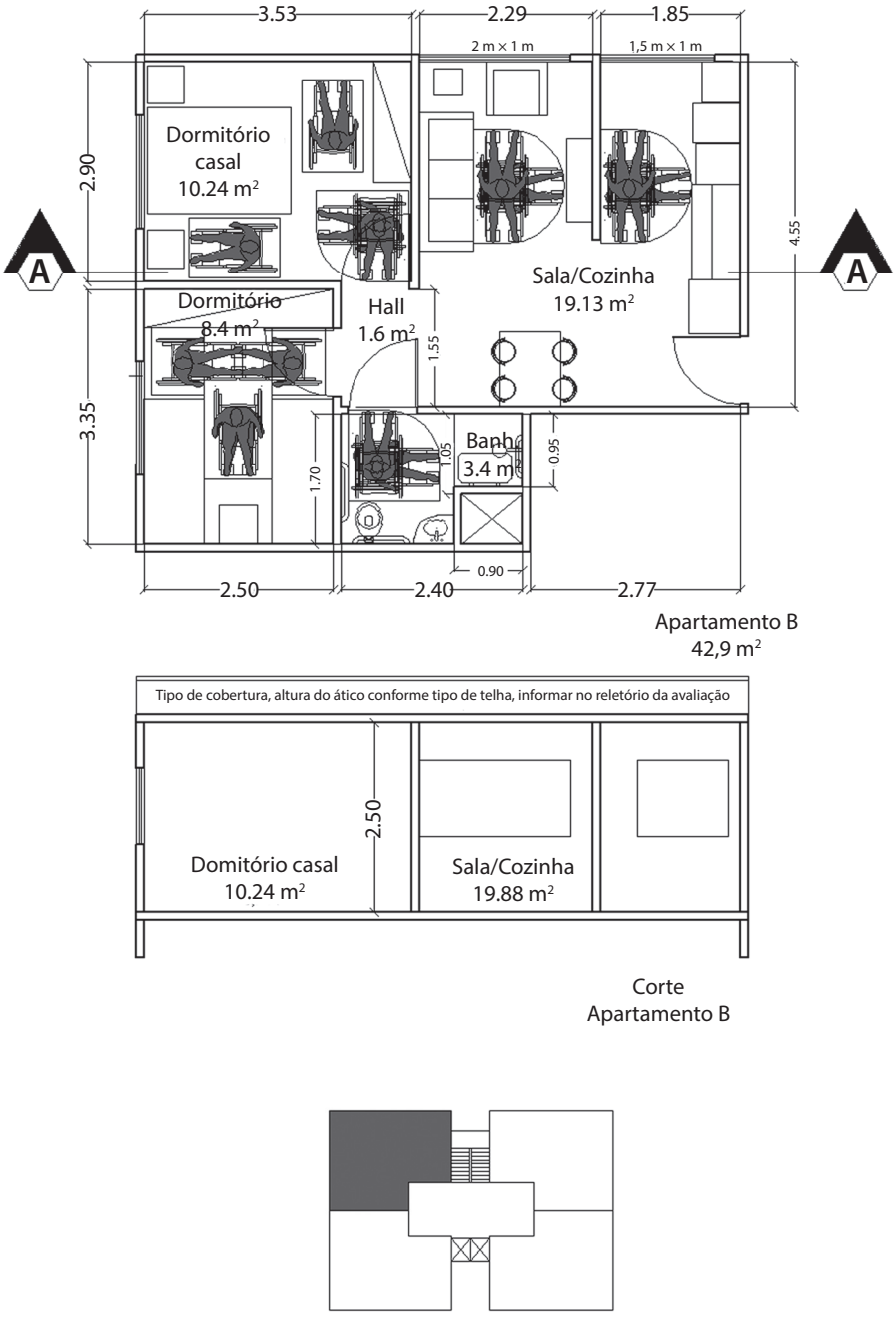


Figura A4. Projeto de apartamento.

Referências

AKUTSU, M. **Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil.** 1998. 150 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

AKUTSU, M.; VITTORINO, F. Proposta de procedimentos para o tratamento de dados climáticos. In: Encontro Nacional de Normalização Ligada ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Ambiental em Edificações, 1990. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15220:** Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575:** Edifícios Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ALFONSI, R.R.; SENTELHAS, P.C. Estimativa da temperatura do solo através da temperatura do ar em abrigo meteorológico. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 2, p. 57-61, 1996.

AZEVEDO, T. R.; GALVANI, E. Ajuste do ciclo médio mensal horário da temperatura do solo em função da temperatura do ar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 123-130, 2003.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO – CRESESP-CEPEL. **Dados de radiação solar.** Acesso em: 2015.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL E URBANO – CDHU. **Caderno de Tipologias.** 1997.

COSTA, A.O.L.; GODOY, H. **C**ontribuição para o conhecimento do clima do solo de Ribeirão Preto, SP. **Bragantia,** Campinas, v. 21, p. 689-742, 1962.

FLORIDES, G.; KALOGIROU, S. Measurements of Ground Temperature at Various Depths, 3rd International Conference on Sustainable Energy, 2004. Nottingham. **Proceedings...** Nottingham, 2004. Technologies on CD-ROM, Nottingham, UK.

GOEDERT, C.O. Temperatura do planossolo em Pelotas, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 6, p. 9-11, 1971.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Normais Climatológicas do período de 1961 – 1990**. http://www.inmet.gov.br/portal/. Acesso em: jan. 2015.

KUSUDA, T.; ACHENBACH, P. R. Earth temperature and termal diffusivity at selected stations in the United States. **ASHRAE Transactions**, v. 71, Part. 1, 1965.

VILELA, M. M. **Estudo de método experimental para determinar a potencialidade do uso de energia geotérmica a baixa profundidade**. 2004. 278 p. Tese (Doutorado) – Programa Interunidades de pós-graduação em energia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. ENERGYPLUS, **Energy Simulation Software** – Energy Efficiency and Renewable Energy – Building Technologies Program. https://energyplus.net/ – Acessos em: jan. 2015 e fev. 2017.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-5953-029-2.2017C0005.p.99-126

Determinação da Isolação Sonora de Fachadas em Andares Altos de Edificações

5

Rebeca Bayeh
Fúlvio Vittorino
Adriana Camargo de Brito
Marcelo de Mello Aquilino
Maria Akutsu
Cristina Yukari Kawakita Ikeda
Peter Joseph Barry

1. Introdução

O conforto acústico no interior dos recintos é um dos itens mais desejados pelos moradores de habitações. Com o intuito de se conseguir uma sensação satisfatória de conforto para a grande maioria dos ocupantes de um ambiente, é necessário considerar vários parâmetros como: o nível de ruído médio; o tempo de reverberação; a ausência de fontes tonais; a garantia da privacidade; a ausência de grandes variações temporais, como a causada pelo acionamento rápido de instalações prediais, etc. De todos esses parâmetros, o nível médio de pressão sonora é o que, em geral, mais afeta essa sensação de conforto. Níveis adequados desse parâmetro são apresentados na norma NBR 10152 (ABNT, 1992).

Com enfoque voltado para a especificação de um desempenho mínimo dos diversos elementos de vedação de uma edificação, a norma NBR 15575 (ABNT, 2013) definiu valores limites para a isolação sonora desses elementos. Essas isolações visam produzir atenuações sonoras, tais que: a) resultem em níveis de ruído, no interior dos recintos, compatíveis com os especificados pela NBR 10152 (ABNT, 1992), em situações típicas de ruído urbano; e b)

garantam uma atenuação dos sons gerados no uso corriqueiro dos espaços vizinhos, de forma a garantir a privacidade dos ocupantes.

A isolação do ruído externo em habitações é condicionada pela composição dos elementos de vedação, pela sua forma de vinculação com os demais componentes da edificação e pela ausência de frestas e de outras falhas construtivas. Neste contexto, a norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013) apresenta valores mínimos compulsórios de isolação sonora dos elementos de vedação a serem verificados em uma obra, levando em conta as condições em que a edificação será entregue ao futuro proprietário.

Nessa norma da ABNT, são incluídos critérios e métodos para a verificação do isolamento ao ruído aéreo entre os meios externo e interno, caso de particular interesse no estudo de isolamento ao ruído em fachadas de edificações. São tratadas, também, a isolação sonora das vedações entre unidades autônomas, como paredes divisórias de apartamentos vizinhos, e entre paredes em unidades autônomas voltadas para as áreas comuns, como churrasqueiras e salões de festas.

Em outras partes da NBR 15575 (ABNT, 2013), são abordados, ademais, tanto o isolamento ao ruído aéreo transmitido por pisos e cobertura, como o de impacto em pisos, ambos com caráter normativo. Já a atenuação do ruído causado por equipamento e instalações prediais possui caráter informativo. Esses assuntos, entretanto, não serão tratados neste capítulo.

A seção 12.2.1.2 da norma em questão faz referência a um dos métodos de avaliação de isolação sonora presente na norma internacional ISO 140-5 (ISO, 1998), que foi substituída, em 2016, pela norma ISO 16283-3 (ISO, 2016). O procedimento citado diz respeito ao **método global com uso de alto-falante**, que exige a realização de medições com o sonômetro posicionado a uma distância de dois metros da fachada analisada, bem como a utilização de alto-falantes emitindo um ruído padronizado. Esse método é facilmente aplicável em ambientes situados no térreo ou até o primeiro pavimento da edificação, contanto que haja uma área livre de obstáculos do lado externo, com espaço suficiente para que os alto-falantes e microfones sejam posicionados conforme as exigências da norma. Entretanto, para a sua utilização em fachadas de andares mais elevados, que se faz necessária em grandes centros urbanos, há várias dificuldades operacionais, até mesmo no que concerne à segurança dos profissionais que efetuam as medições.

O presente capítulo trata de alternativas para a avaliação da isolação sonora de fachadas à luz da nova norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013), a fim de propor a incorporação de outro método de medição, previsto na norma ISO 16283-3 (ISO, 201). São apresentados os requisitos e exigências da norma, além de discussões sobre a possibilidade de substituir os procedimentos de medição do nível de pressão sonora a uma distância de dois metros da fachada por uma medição com os microfones e pré-amplificadores posicionados encostados à fachada; propondo ainda a substituição do conjunto "caixa acústica e gerador de sinal" como fonte de ruído pelo tráfego urbano.

2. Normas NBR 15575-4 (ABNT, 2013) e ISO 16283-3 (ISO, 2016)

A norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013) prevê o uso de três métodos para verificação de desempenho acústico de elementos do sistema vertical de vedação externa:

- "Método de precisão realizado em laboratório: Este método determina a isolação sonora de componentes e elementos construtivos (parede, janela, porta e outros), fornecendo valores de referência de cálculo para projetos. O método de ensaio é descrito na ISO 10140-2. Para avaliar um projeto com diversos elementos (parede com janela, parede com porta, etc.), é necessário ensaiar cada um e depois calcular o isolamento global do conjunto";
- "Método de engenharia realizado em campo para fachadas: determina, em campo, de forma rigorosa, o isolamento sonoro global da vedação externa sob avaliação (conjunto fachada e cobertura, no caso de casas térreas e sobrados e somente fachada nos edifícios multipiso), caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema. O método é descrito na ISO 140-5" (Substituída no ano de 2016 pela Norma ISO 16283-3). O método de engenharia com caráter normativo é usado para avaliação de desempenho da edificação a ser entregue para o comprador. Esse método determina de forma rigorosa (via medição) o tempo de reverberação no ambiente de recepção. O resultado obtido caracteriza de forma direta o comportamento acústico do elemento construído. Assim, o resultado se restringe somente à situação avaliada;
- "Método simplificado de campo: Este método permite obter uma estimativa do isolamento sonoro global da vedação externa (...) em situações onde não se dispõe de instrumentação necessária para medir o tempo de reverberação, ou quando as condições de ruído de fundo não permitem obter este parâmetro. O método simplificado é descrito na ISO 10052". O método simplificado

também tem caráter normativo para avaliação de desempenho da edificação a ser entregue para o comprador. O método simplificado estima (via cálculo) o tempo de reverberação no ambiente de recepção.

Os métodos de campo adotam o parâmetro $D_{2m,nT,w}$ (diferença padronizada de nível ponderada a dois metros de distância da fachada) para determinação do isolamento sonoro global de vedações externas e abrangem unicamente o método global com uso de alto-falantes (descrito no item 9 da norma ISO 16283-3 (ISO, 2016).

O cálculo da ponderação (*w*) é descrito na norma ISO 717-1 (ISO, 2013), enquanto o cálculo da diferença de nível sonoro normalizada, definido na norma ISO 16283-3 (ISO, 2016), é dado pela Equação 1, em que: D_{2m} é a diferença de nível de pressão sonora entre o valor medido no interior da unidade (L_R) e o valor medido a dois metros da fachada (L_E), em dB; T é o tempo de reverberação no interior da unidade; e T_0 é o tempo de reverberação padronizado como 0,5 segundo.

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \log \left(T / T_0 \right) \qquad \text{(Eq. 1)}$$

Na Figura 1, é apresentado um esquema que indica as medições de nível de pressão sonora utilizadas para o cálculo da diferença de nível de pressão sonora. Na Figura 2, é apresentada uma foto ilustrando um ensaio de fachada realizado em uma habitação térrea, com posicionamento de microfone e de alto-falante conforme o método global com uso de alto-falante, definido na ISO 16283-3 (ISO, 2016).

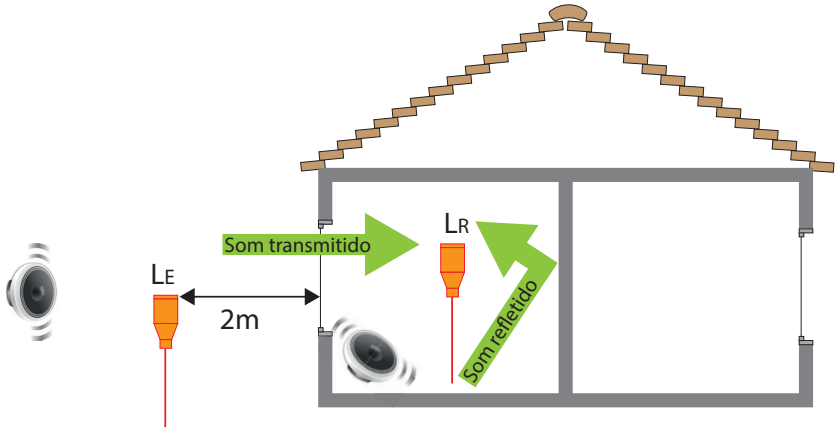


Figura 1. Esquema de medições externas e internas à unidade avaliada.

Figura 2. Preparação para realização de ensaio em habitação térrea.

A Tabela 1, reproduzida de acordo com o anexo F da NBR 15575 (ABNT, 2013), indica o nível de desempenho das vedações externas em função da condição de exposição da habitação. Observa-se que, entre um nível de classificação de desempenho e outro, a diferença de valores medidos para o $D_{2m,nT,w}$ é de 5 dB. Os procedimentos testados no presente trabalho visam obter variações em relação às medições feitas com o microfone 2 m distante da fachada, as quais se mostram muito menores do que esse valor.

Tabela 1. Desempenho acústico da fachada em função da diferença padronizada de nível ponderada da ($D_{2m,nT,w}$) para ensaios de campo, classificado como M (mínimo, normativo), I (intermediário, informativo) ou S (superior, informativo). (Transcrito da NBR 15575).

Classe de Ruído	Localização da Habitação	$D_{2m,nT,w}$ (dB)	Nível de Desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	≥ 20	M
		≥ 25	I
		≥ 30	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com legislação	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S

Entretanto, os itens 9 e 10 da norma ISO 16283-3 (ISO, 2016) descrevem um total de quatro métodos:

- Método global com uso de alto-falante;
- Método de elemento com uso de alto-falante;
- Método global com uso de ruído de tráfego;
- Método de elemento com uso de ruído de tráfego.

Na norma ISO 16283-3 (ISO, 2016), especifica-se que a distância mínima (Dmin) entre o alto-falante e o centro do corpo de prova deve ser de 5,0 m para o método de elemento e de 7,0 m para o método global. O instrumento tem, além disso, que se localizar à maior distância possível do solo. A caixa acústica deve estar posicionada de forma que uma linha entre o seu centro e o centro do corpo de prova forme um ângulo de 45º ± 5º em relação a um plano vertical que atravessa o centro da fachada. O microfone, durante as medições externas, precisa estar a uma altura de 1,5 m em relação ao piso da unidade avaliada. Na Figura 3, é indicado um dos dois posicionamentos possíveis para a caixa acústica, com relação à fachada, para ensaios de campo, utilizando o método global a partir do uso de alto-falantes, de forma a atender às exigências normatizadas de distância e ângulo. O outro posicionamento é simétrico ao indicado, em relação ao plano perpendicular à fachada.

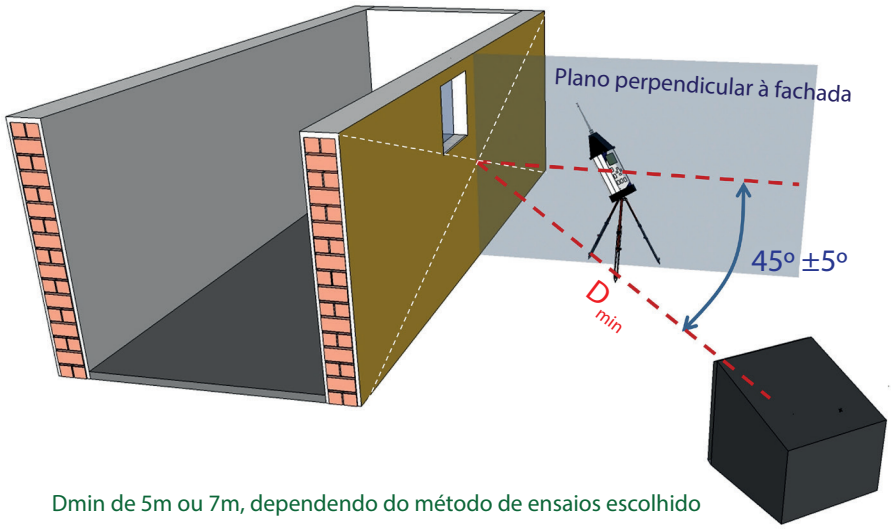


Figura 3. Ilustração esquemática dos pontos de posicionamento da caixa acústica (A e B).

Para medições em andares elevados, além da dificuldade de se erguer toda a instrumentação, a realização do ensaio implica em risco a quem executa o trabalho e em possibilidade de dano aos equipamentos, tendo em vista a altura em relação ao solo e a presença de vento, que pode causar a movimentação de todo o sistema de medições, desestabilizando-o.

As Figuras 4 a 6 ilustram aspectos operacionais do uso do método descrito para ensaio em campo em um andar ligeiramente mais elevado de uma edificação, onde ainda foi possível utilizar-se de andaimes para apoio de toda a instrumentação.

Figura 4. Andaimes utilizados para apoio da caixa acústica e do medidor de nível sonoro, a fim de se realizar ensaio em fachda situada no 1° andar de edifício.

Figura 5. Uso de cordas para elevação da caixa acústica à altura do piso da unidade avaliada.

Figura 6. Elevação de caixa acústica para realização de ensaio.

As especificidades de cada um dos quatro métodos descritos na norma ISO 16283-3 (ISO, 2016) são apresentadas a seguir.

2.1. Método Global com Uso de Alto-Falante

O método global com uso de alto-falantes foi detalhadamente apresentado anteriormente e visa medir a isolação sonora de toda a fachada. Apesar disso, vale acrescentar alguns detalhes: admite-se uma incerteza de ± 0,2 m em relação à posição especificada de 2,0 m do plano da fachada; o microfone deve estar posicionado a 1,0 m dos guarda-corpos ou outros elementos protuberantes. No caso do uso de mais de uma posição de alto-falante, a diferença média no nível de pressão sonora ($D_{ls,\ 2m}$) é dada pela Equação 2, também reproduzida da norma, em que *n* é o número de posições utilizadas e *Di* é a diferença de nível para cada medição realizada.

$$D_{ls,2m} = -10\lg\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}10^{-D_i/10}\right) \qquad \text{(Eq. 2)}$$

2.2. Método de Elemento com uso de Alto-falante

O método de elemento visa determinar a isolação sonora de um elemento da fachada, como uma janela, e recomenda o uso do microfone

rente ao componente a ser ensaiado. O princípio pode ser aplicado a toda a fachada a ser testada. A norma ISO determina que o instrumento seja fixado juntamente com o pré-amplificador, de forma estável, para evitar alterações em seu posicionamento, utilizando ainda espuma protetora contra o vento em formato hemisférico, como indicado na Figura 7, reproduzida conforme consta na norma ISO. A distância do eixo do microfone em relação à fachada deve ser de no máximo 3 mm, caso seja paralelo à esse local. Caso seja perpendicular, a distância da membrana do microfone até a fachada deve ser de no máximo 10 mm. Cabos e equipamentos não podem interferir na transmissão do som à fachada testada.

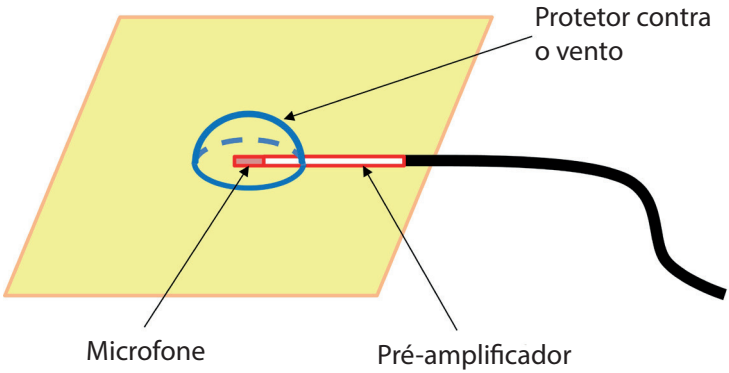


Figura 7. Esquema para microfone embutido com eixo paralelo à fachada e protetor hemisférico contra o vento (ISO, 2016).

Devem ser utilizados entre três e dez pontos de medição para o microfone, distribuídos de forma assimétrica sobre a superfície. Recomenda-se iniciar com três pontos e verificar se a diferença dos níveis de pressão sonora medidos excedem os 3 dB. Em caso afirmativo, escolher mais pontos até que o número de posições exceda o número de decibéis, atingindo uma diferença, entre quaisquer duas medições de nível de pressão sonora, de até no máximo dez pontos (se a diferença ultrapassar os 10dB, deve-se informar no relatório o valor verificado). Em caso de medições em recessos de fachada, devem ser realizadas medições em dez pontos.

A fórmula utilizada para calcular o nível de pressão sonora externo médio ($L_{1,s}$) na superfície de teste a partir de n medições (L_i) é dada pela Equação 3, também reproduzida a partir da seção 9 da norma ISO 16283-3.

$$L_{1,s} = 10\ \lg\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} 10^{L_i/10}\right) \qquad \text{(Eq. 3)}$$

O método de elemento prescrito na norma considera o uso de modelos de microfones e pré-amplificadores comumente encontrados em sonômetros, sem se atentar para outros tipos de microfones de menores dimensões, construídos, especificamente, para serem montados em superfícies (Figura 8), talvez pela maior robustez dos primeiros em relação aos do segundo modelo. Nesse sentido, todo o trabalho foi conduzido com os microfones e pré-amplificadores de uso mais frequente.

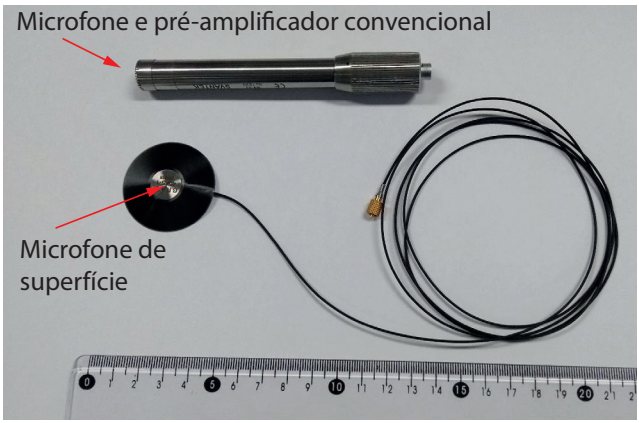


Figura 8. Comparação entre o microfone de fachada e microfone e pré-amplificador usado em sonômetros convencionais.

Ressalta-se que o uso de alto-falantes, tanto para o método global quanto para o de elemento, também deve atender a requisitos para a geração do campo sonoro. Podem ser utilizados ruídos rosa ou branco, e, para cada banda de terço de oitava, por exemplo, o nível de pressão sonora não deve variar mais que 4 dB para bandas com centro em 250 Hz ou mais. O campo sonoro gerado deve ser estável, e o nível de pressão sonora recebido na unidade avaliada deve exceder o ruído de fundo em no mínimo 6 dB.

2.3. Método de Elemento com Uso de Ruído de Tráfego

Os métodos que utilizam ruído de tráfego, descritos na seção 10 da norma ISO 16283-3 (ISO, 2016), são indicados para casos em que o uso

dos métodos que utilizam alto-falantes não podem ser efetuados por razões práticas, o que deve ser também reportado nos relatórios ou quando se deseja realizar comparações com resultados obtidos em laboratório.

No que se refere ao método de elementos, indica-se que, para cada medição, deve haver a presença de, pelo menos, cinquenta veículos em movimento, em um período de tempo mínimo de quinze segundos. Esta exigência visa produzir uma fonte sonora estável e condiciona os melhores horários de medição, visto que nos horários de pico de cidades grandes o fluxo de veículos pode ser mais lento. O fluxo do tráfego deve seguir uma trajetória aproximadamente linear dentro de um ângulo inferior a 60º em relação à fachada, com desvios permitidos de 15º.

Além disso, o ângulo de elevação entre a fachada estudada e a linha de tráfego deve ser inferior a 40º, medida que possibilita observar a fachada inteira em toda a linha de tráfego utilizada. A distância entre esta linha e a fachada deve ser ou de 25 m ou três vezes a largura da fachada, optando-se por aquela que for maior.

As demais condições de medição são equivalentes às do método de elemento com uso de alto-falante, utilizando o microfone rente à fachada. O cálculo de diferença de nível sonoro externo, que deve utilizar no mínimo três pontos de medição para fachadas planas ou cinco pontos para fachadas com recessos, é análogo ao do método global com uso de alto-falante, conforme Equação 3. O número de medições internas deve ser o mesmo de medições externas.

É importante ressaltar que o ruído de tráfego apresenta flutuações no tempo. Portanto, para que ele possa ser utilizado em medições de isolamento sonoro, as medições dos níveis de ruído, interno e externo, devem ser realizadas simultaneamente. Para isso, pode-se recorrer ao uso de microfones acoplados a equipamento com dois canais ou ao uso de dois microfones em equipamentos independentes, desde que estes estejam devidamente sincronizados e configurados com mesmas taxas de aquisição de dados.

2.4. Método Global com Uso de Ruído de Tráfego

O método global com uso de ruído de tráfego exige condições geométricas similares às do método global com uso de alto-falante. Demanda também requisitos iguais aos exigidos no método de elemento com uso de ruído de tráfego para uso do ruído de tráfego como fonte sonora.

O microfone deve estar a 1,5 m de altura em relação ao piso do cômodo analisado, e o cálculo de nível de pressão sonora médio é também análogo ao descrito na Equação 3.

3. Efeito da Reflexão do Ruído em Fachadas

O ponto de partida para se determinar a isolação sonora da fachada de um edifício é a medição do ruído incidente sobre ela. A medição externa de ruídos para qualquer tipo de fonte sonora é condicionada à distância dos sonômetros utilizados com relação à fachada, visto que esta promove reflexão sonora, fator já bem documentado em literatura. A Figura 9 ilustra o som atingindo a superfície e mostra uma parcela dele sendo transmitida, outra parcela sendo absorvida pelo meio material e outra sendo refletida. Dessa maneira, é esperado que, ao realizar medições junto à fachada, obtenha-se um nível de pressão sonora superior aos provenientes de medições efetuadas em maior distância.

Em posições rentes à fachada, a energia sonora é aproximadamente o dobro da energia incidente, devido à reflexão. Como o nível de pressão sonora é proporcional a dez vezes o logaritmo comum ($\log_{10}$) da energia, dobrando-se a energia, obtém-se um acréscimo de aproximadamente 3 dB no nível de pressão sonora. Hall et al. demonstraram que esta correção é satisfatória para bandas de terço de oitava centradas entre 200Hz e 2000Hz (HALL, 1984).

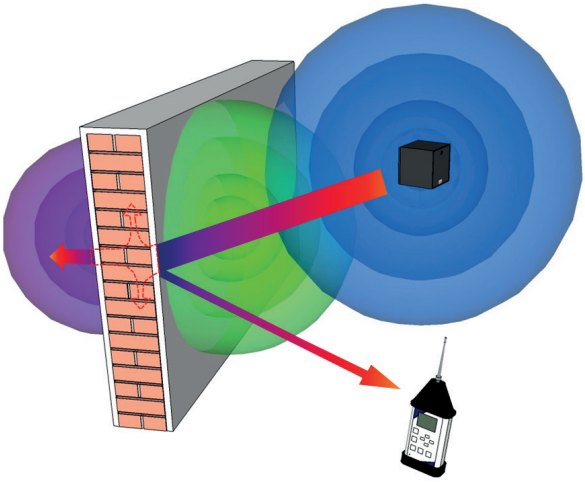


Figura 9. O ruído incidente sobre a fachada é parcialmente refletido, parcialmente absorvido e parcialmente transmitido.

Contudo, a partir de medições de nível de pressão sonora próximas à fachada, realizadas pela equipe do Laboratório de Conforto Ambiental (LCA-IPT, 2013) e de estudos realizados por autores como Sánchez Bote et al. (2012) e Berardi et al. (2012), tem-se verificado que a diferença de nível sonoro supracitada é inferior a 3 dB, o que está relacionado com a absorção parcial do ruído pela fachada e com as diferenças de comportamento de difusão da reflexão das ondas sonoras em diferentes faixas de frequência, conforme detalhado mais adiante. Nesse sentido, a associação americana ASTM, no documento "*Standard Guide for Field Measurements of Airborne Sound Insulation of Building Facades and Facade Elements*" (ASTM E966, 2011 - itens 8.5.2 e 8.5.3), sugere a utilização de uma correção de 2 dB quando se utiliza o método de microfone próximo à fachada (caso em que a reflexão aumenta em aproximadamente duas vezes a pressão sonora incidente sobre o microfone) ou de 5dB quando se utiliza o método de microfone embutido (caso em que a reflexão aumenta em aproximadamente quatro vezes a pressão sonora incidente sobre o microfone) no cálculo do índice de redução de ruído externo.

4. Investigações com Uso dos Métodos

Diversos estudos têm sido realizados com a finalidade de avaliar as incertezas nas medições de grandezas associadas à inferência da isolação sonora em fachadas de edificações, conforme as normas ISO 140-5 e sua substituta ISO 16283-3.

Idealmente, o melhor campo sonoro possível para evitar variações do ruído diretamente incidente sobre as diferentes regiões da fachada é produzido por fontes omnidirecionais. Sánchez Bote et al. demonstram que essa condição não é válida apenas para fachadas muito grandes, em que ocorrem muitas variações locais de nível de pressão sonora total em cada ponto da fachada.

Foi demonstrado, pelos mesmos autores, que alto-falantes pequenos produzem campos próximos aos uniformes até a faixa de 5 kHz (limite exigido nas normas ISO). Contudo, para estudo de baixas frequências são necessários alto-falantes com potência superior às encontradas, normalmente, em caixas muito pequenas. Também foi verificado que o uso de caixas dodecaédricas apresenta muita flutuação nas frequências próximas a 1 kHz, também não sendo recomendada sua utilização.

Foi observado ademais o efeito da reflexão sonora da fachada e da absorção do solo em frente à fachada, sendo indicada a necessidade de qualificação dos alto-falantes em câmaras anecóicas antes de sua utilização em campo (SÁNCHEZ BOTE et al., 2012).

Beraldi aponta que, mesmo em condições experimentais próximas ao ideal, o uso de alto-falante provoca, inevitavelmente, interferências de onda nas regiões próximas às fachadas, em especial em baixas frequências.

Nas bandas de terço de oitava com centro em 50 Hz e 63 Hz, em diferentes pontos da fachada, é possível verificar diferenças de até 2 dB, o que reforça a necessidade de se utilizar vários pontos de medição de nível de pressão sonora para reduzir o efeito da interferência destrutiva em baixas frequências. O autor também realizou medições de nível de pressão sonora a 1,0m da fachada, tendo concluído que interferências destrutivas ainda são evidentes nas bandas centradas em 63 Hz e 80 Hz (BERALDI, 2013).

Machimbarrena et al. (2015) demonstraram que nas bandas centradas em frequências médias e altas a incerteza intrínseca à instrumentação é superior para quaisquer tipos de fachadas.

Em fachadas construídas com materiais leves, contudo, as altas frequências apresentam níveis de pressão sonora com maior flutuação. O tempo de reverberação no interior da unidade estudada influi significantemente apenas em frequências inferiores a 500 Hz (MACHIBARRENA, 2015).

Com relação ao uso de ruído de tráfego, Olafsen aponta que os resultados obtidos utilizando o referido método em frequências entre 200 Hz e 1000 Hz são compatíveis àqueles obtidos utilizando-se alto-falantes. Abaixo de 200 Hz, utilizar o ruído de tráfego resulta em valores de isolação sonora aparente inferiores, e acima de 1000 Hz o ruído de tráfego não apresenta energia suficiente para que seja avaliada a isolação sonora (OLAFSEN, 2012).

5. Desenvolvimento de Método de Medição de Ruído em Fachadas

Para se estudar a possibilidade de implantar métodos alternativos de medição e geração de ruído no exterior da edificação, foram feitas medições de nível de pressão sonora em várias situações, bastante distintas, a fim de se estimar:

- A influência da distância do microfone às fachadas com rugosidades diferentes;
- A influência do uso do protetor contra o vento e do microfone junto à fachada.

Para se verificar a repetitividade dos equipamentos utilizados nas etapas anteriores, foram feitas repetições, mudando-se o nível de pressão sonora emitida pelas caixas acústicas. Finalmente, foi feito um estudo exploratório sobre o uso do ruído de tráfego.

Todos os ensaios realizados com caixa acústica atenderam aos critérios da norma ISO 16283-3 (ISO, 2016). A caixa acústica foi posicionada em dois pontos diferentes para cada ensaio, ambos estabelecidos a 7,0 m de distância do centro da fachada e dispostos a um ângulo de 45º com relação a esse local. Em todas as medições, foram utilizados um sonômetro classe zero e uma caixa acústica direcional de 45º.

Nos ensaios realizados em fachadas de andares térreos, a altura do microfone com relação às fachadas foi mantida constante: a 1,5 m em relação ao solo. Nas medições em que o tripé foi posicionado sobre a calçada, todas as extensões desse suporte foram ajustadas para que altura fosse mantida constante com relação ao centro da fachada durante toda a série de medições.

A caixa acústica emitiu ruído rosa em todos os ensaios e, tendo em vista o controle, para cada ensaio, foram realizadas medições de calibração e de ruído de fundo.

5.1. Influência da Distância do Microfone à Fachada

Primeiramente, buscou-se avaliar a influência da posição do microfone em relação às fachadas abrangidas nas medições de níveis de pressão sonora, levando em consideração a distância normalizada de 2,0 m. Em uma primeira série de ensaios, foram consideradas quatro fachadas construídas com diferentes materiais, ilustradas na Figura 10. As fachadas 1, 2, 3 e 4 pertencem respectivamente a edifícios com fachadas em: alvenaria revestida com pastilhas cerâmicas da ordem de 2 cm de lado; alvenaria de blocos de concreto aparentes; painéis de concreto recobertos com painéis metálicos; e cortinas de vidro – correspondentes aos blocos 31, 36, 50 (lateral) e 50 (posterior) do IPT.

Durante todas as medições, o sonômetro foi posicionado a 5,0 m de distância longitudinal da caixa (ora posicionada em A, ora em B, conforme Figura 11), sendo movido perpendicularmente com relação à fachada durante

as medições. Quatro pontos de medição padrão foram utilizados, afastados de 0,5 m um do outro, representados também na Figura 11. As posições utilizadas distam 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m e 2,0 m da fachada.

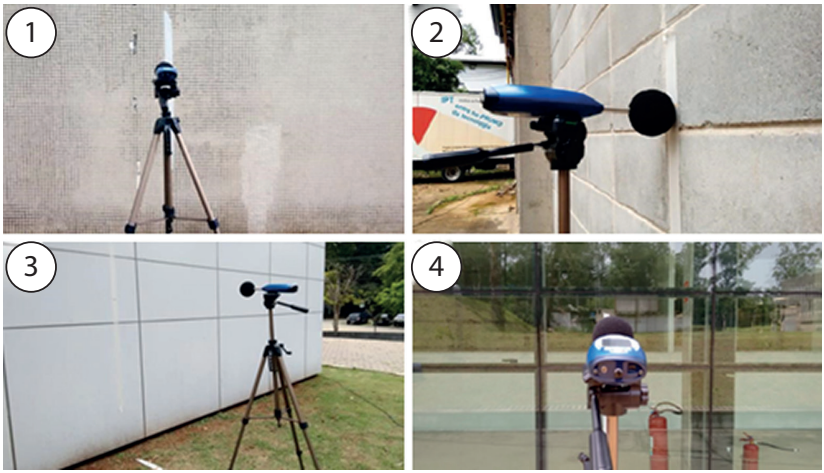


Figura 10. Fachadas utilizadas no estudo da influência da distância do microfone com relação à fachada.

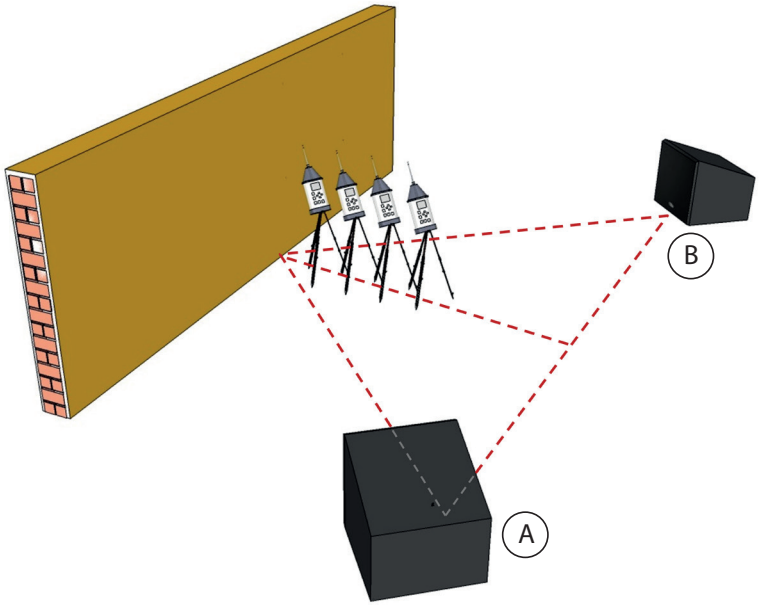


Figura 11. Posições utilizadas para fim de medição do nível de pressão sonora em frente à fachada.

Na Figura 12, é apresentado o gráfico de nível de pressão sonora por fachada (1, 2, 3 e 4) e por posicionamento da caixa acústica (A e B).

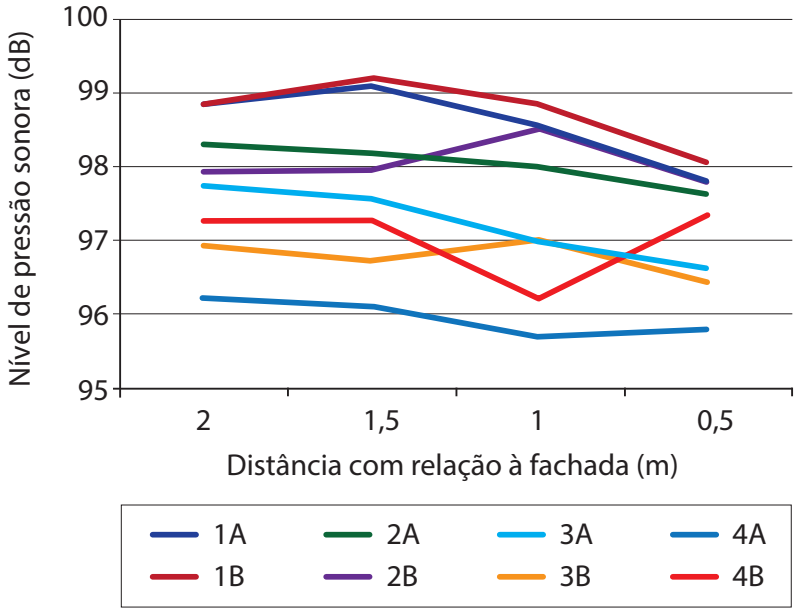


Figura 12. Influência da posição do ponto de medição e da fonte sonora no nível de pressão sonora.

Observa-se que o posicionamento da caixa influenciou em até 1,3 dB a diferença de nível de pressão sonora entre uma medição e outra (caso da fachada 3). Observa-se também que, nas fachadas 1 e 2, houve aumento no nível de pressão sonora a 1,0 m ou 1,5 m de distância da fachada. Isto provavelmente ocorreu devido ao fato de ambas as fachadas estarem localizadas próximas a outras fachadas, o que pode ter provocado um efeito de paralelismo, a partir de reflexões sucessivas do som, aumentando a pressão sonora nos pontos analisados.

Na Figura 13, está ilustrado o efeito de reflexões sucessivas nos pontos intermediários de medição.

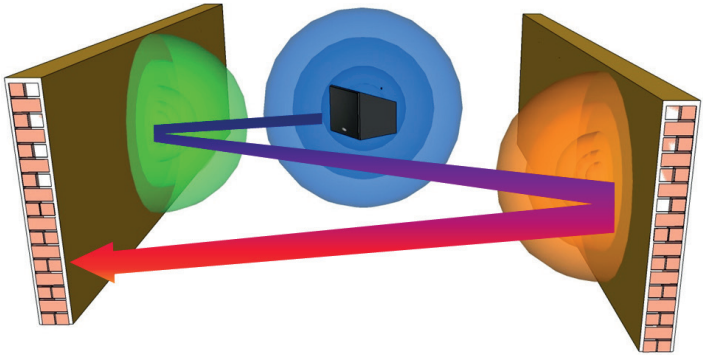


Figura 13. Paralelismo nas regiões intermediárias estudadas, devido às sucessivas reflexões

5.2. A Influência do Uso do Protetor Contra o Vento e do Microfone Junto à Fachada

Foram investigadas técnicas diferentes de posicionamento do microfone rente à fachada, a fim de se analisar a influência da reflexão da fachada sobre as medições, bem como a viabilidade de procedimentos práticos de medição em campo.

O microfone foi fixado a, aproximadamente, 20 milímetros das quatro fachadas estudadas anteriormente, em duas condições diferentes: apoiado sobre o tripé, com o protetor contra o vento (método I); e posicionando manualmente, sem espuma protetora (método II), conforme Figura 14.

Figura 14. Métodos utilizados para medição de nível de pressão sonora nas fachadas.

Na Figura 15, mostra-se uma comparação entre os dois métodos de medição rente à fachada com auxílio do gráfico de diferença de nível de pressão sonora entre dois metros da fachada e rente à esse mesmo local, utilizando-se ambos os métodos.

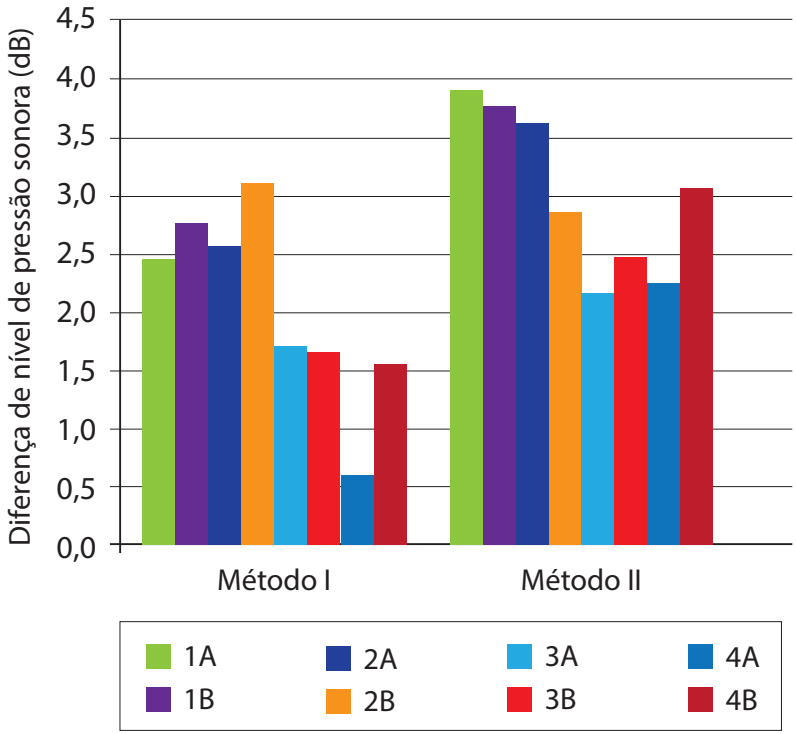


Figura 15. Comparação entre métodos de medições rentes à fachada.

Observa-se que, mesmo levando em conta as variáveis de rugosidade das fachadas, a posição das caixas, o uso da espuma protetora e a necessidade de se haver um operador sustentando manualmente o sonômetro, a maior flutuação obtida na diferença de nível de pressão sonora foi de 1,6 dB.

Observa-se também que o método II apresenta, em média, diferenças de nível de pressão sonora superiores às obtidas por meio do método I, o que sugere possível influência do operador enquanto corpo absorvedor. O método I pode ter reduzido, além disso, a distância da membrana do microfone com relação à fachada devido ao uso da espuma protetora.

5.3. Repetitividade dos Equipamentos Utilizados

Para fim de verificação da possibilidade de se obter repetitividade dos resultados anteriores, nas faixas de pressão sonora de interesse, foram escolhidos cinco níveis de pressão sonora para emissão de ruído rosa pela caixa acústica, entre 81,3 dB e 101,8 dB (medidos a dois metros da fachada), sendo controlados por intermédio do regulador de atenuações ligado à caixa.

Medições de nível de pressão sonora rentes à fachada 1 foram realizadas novamente, nas mesmas condições geométricas descritas nos estudos anteriores e com posicionamento de microfone conforme o método II. Na Figura 16, são indicadas as diferenças nos níveis de pressão sonora média, obtidas emitindo-se diferentes níveis de pressão sonora (i, ii, iii, iv e v) para cada posicionamento de caixa (A e B). A média das diferenças entre os pontos de medição foi de 3,5 dB, e a maior flutuação obtida entre todas as médias de nível de pressão sonora foi 1,5 dB.

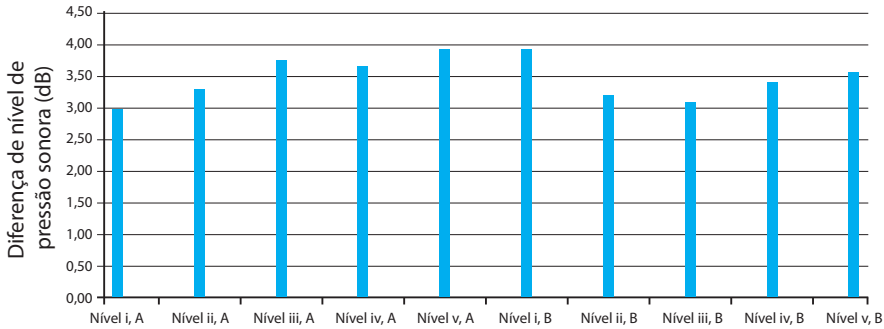


Figura 16. Diferença de nível de pressão sonora a dois metros da fachada e rente a esse mesmo local, emitindo-se cinco níveis de pressão sonora diferentes.

Observa-se que todos os níveis de pressão sonora utilizados forneceram valores compatíveis de diferença de nível de pressão sonora. Não são observadas diferenças significativas de comportamento da diferença de nível de pressão sonora entre os diferentes níveis totais emitidos.

Foi realizado, também, um ensaio de campo livre, a fim de se verificar a influência da posição da caixa na obtenção da diferença do nível de pressão sonora. Durante o ensaio, a caixa acústica e o microfone foram posicionados de forma a simular um ensaio como nos moldes descritos anteriormente, a menos da existência da fachada. Na Figura 17, são mostrados os níveis de pressão sonora medidos por banda de terço de oitava, utilizando duas

posições de caixa (A e B) e duas posições de microfones (a 5 metros e a 7 metros da fachada virtual). Na Figura 18, são indicadas as diferenças de nível de pressão sonora obtidos para ambas as posições de caixa.

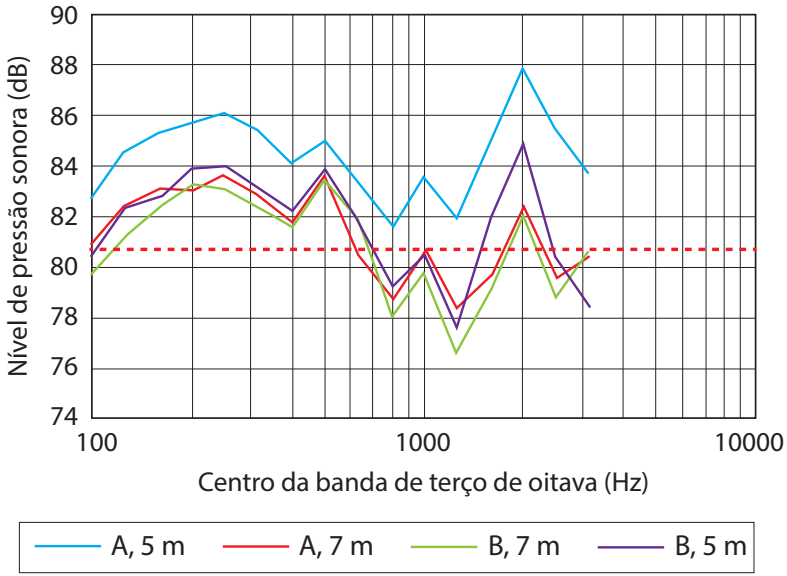


Figura 17. Níveis de pressão sonora obtidos em ensaio de campo livre.

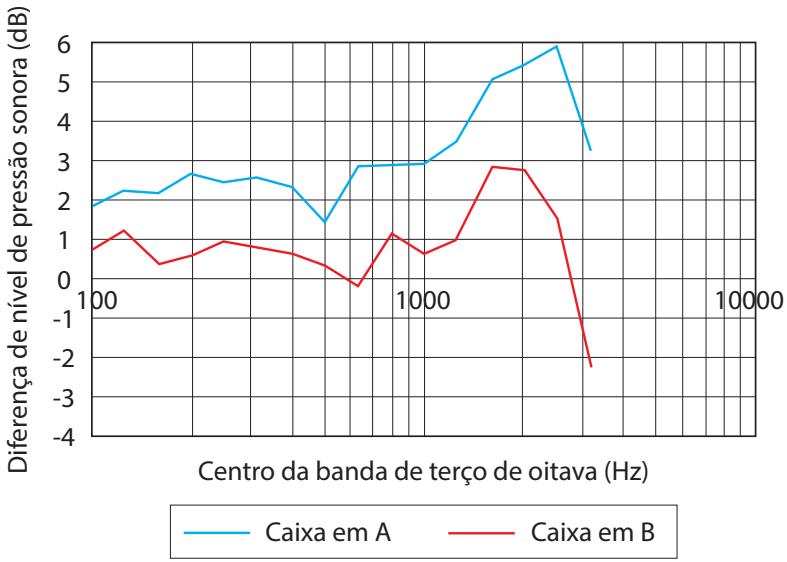


Figura 18. Diferença de níveis de pressão sonora obtidos em ensaio de campo livre.

As quatro medições apresentaram coerência espectral tanto em termos de valor absoluto do nível de pressão sonora quanto em termos de diferença de nível sonoro a dois metros e rente à fachada virtual. Todas as diferenças de variação de nível de pressão sonora são inferiores a 3,1 dB entre as posições das caixas, exceto para as bandas de terço de oitava centradas em 2500 Hz e 3150 Hz, discrepância esperada para altas frequências. A variação do nível de pressão sonora equivalente, que é a grandeza utilizada no cálculo do parâmetro D_{2m}, para as medições a sete metros da caixa, lugar onde estaria localizada a fachada, foi de 0,4 dB, valor que indica baixa influência da escolha do posicionamento da caixa em campo livre, desde que atendidos os requisitos geométricos utilizados.

5.4. Exploração Sobre o Uso do Ruído de Tráfego

Novos ensaios foram realizados, desta vez em duas fachadas do 1° andar de um edifício em fase de obra, utilizando-se os mesmos equipamentos e posicionamentos de caixa que foram usados nos estudos anteriores.Foram feitas ainda medições do ruído de tráfego. O microfone foi posicionado com tripé a, aproximadamente, 2,0 m e, posteriormente, a 0,15 m de distância da fachada. As medições de pressão sonora com uso de ruído de tráfego foram feitas em 2 baterias, sendo o intervalo de tempo entre elas, basicamente, o necessário para reposicionar o sonômetro e ajustar esses medidores.

Na Figura 19, é exibido o gráfico do nível de pressão sonora medido por banda de frequência nas medições que utilizaram ruído de tráfego como fonte sonora, a dois metros da fachada e a quinze centímetros dela.

As diferenças obtidas com os 2 posicionamentos do sonômetro são inferiores às obtidas nos ensaios anteriores, fato que pode ter sido suscitado pelas possíveis flutuações do ruído de tráfego durante as medições, visto que não foram realizadas simultaneamente, reforçando-se a necessidade de se realizar medições simultâneas, e também pelo posicionamento do microfone a quinze centímetros, que impede a medição da reflexão máxima promovida pela superfície da fachada. Conforme observado por Olafsen (2012), acima de 1000 Hz, há uma queda significativa na energia sonora, que pode não ser suficiente para realização de medições de isolação sonora de fachadas de alto desempenho.

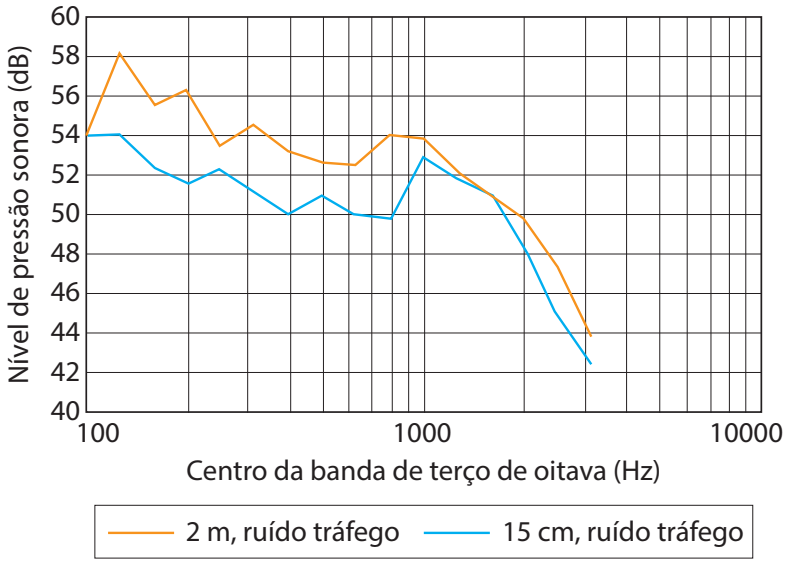


Figura 19. Nível de pressão sonora a dois metros da fachada e próximo a esse mesmo local.

A diferença de nível de pressão sonora equivalente, obtida utilizando a caixa acústica, foi de apenas 0,6 dB, o que também se deve ao posicionamento do microfone, que estava próximo o suficiente, a ponto de receber apenas parcialmente a pressão sonora proveniente da reflexão da fachada. As diferenças de nível obtidas por faixa de frequência são mostradas nas Figuras 20 e 21.

Os dados obtidos demonstram, como era esperado, que o uso da caixa acústica supriu a deficiência de energia sonora a partir dos 1000 Hz e evidenciaram um comportamento de queda de nível de pressão sonora próximo à fachada, na região entre 315 e 800 Hz, decorrente de interferência destrutiva entre as ondas incidentes e refletidas pela fachada.

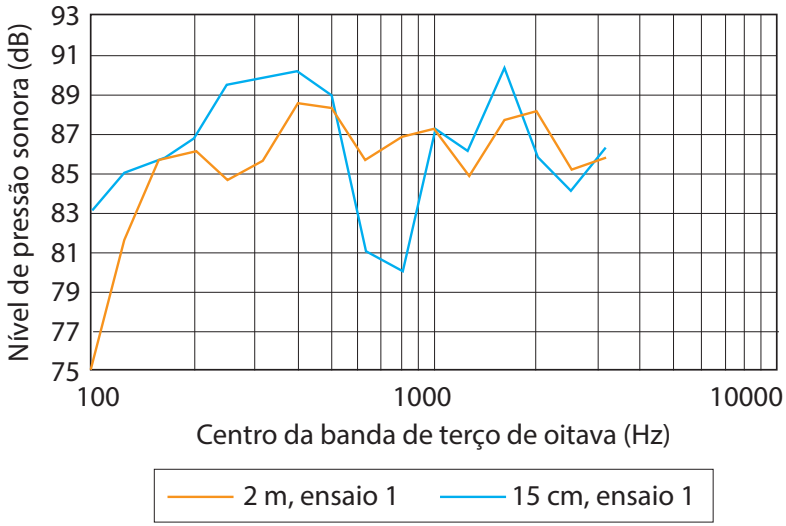


Figura 20. Nível de pressão sonora por banda de terço de oitava no primeiro ensaio.

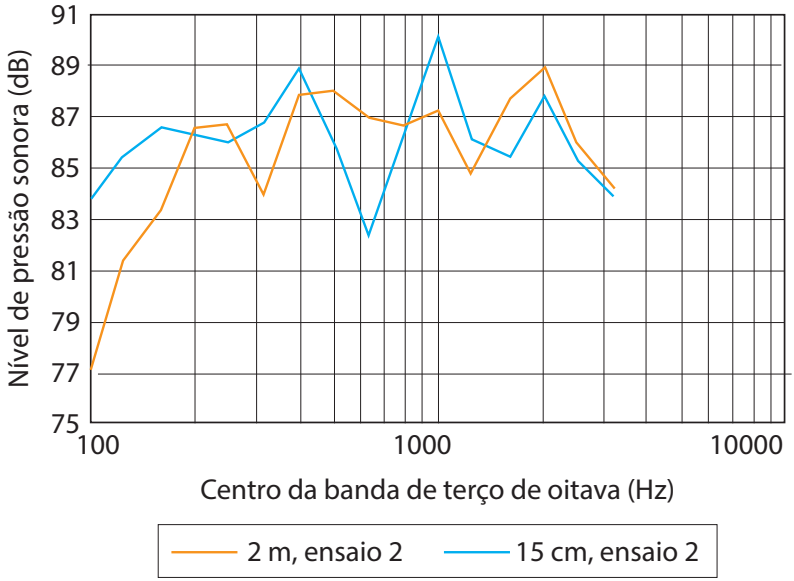


Figura 21. Nível de pressão sonora por banda de terço de oitava no segundo ensaio.

6. Recomendações para Uso de Método de Medição de Isolação Sonora em Fachadas

Tipicamente, as variações nos níveis de pressão sonora equivalentes obtidas nos estudos realizados, considerando os efeitos de posicionamento de caixa, rugosidade de fachadas, nível de pressão sonora emitidos, uso de espuma protetora e presença de operador durante as medições, foi inferior a 0,5 dB. Contudo, houve variações de até 1,6 dB, o que sugere a necessidade de se considerar a possibilidade de haver diferenças dessa ordem de grandeza, quando se pretende utilizar um valor de nível de pressão sonora equivalente obtido junto à fachada como estimativa daquele que seria obtido a 2m de distância. Por segurança, sugere-se adotar um valor de 2 dB.

Nos casos em que a unidade analisada possua varanda e que isso facilite o posicionamento do microfone distante do SVVE, recomenda-se que seja utilizado o método global com uso de ruído de tráfego, conforme descrito na norma ISO 16283-3 (ISO, 2016). Este método envolve a fixação do microfone a um metro de distância da fachada, e as incertezas provenientes desse posicionamento e da possível presença de um operador, quando não for possível fixar o microfone, estão devidamente asseguradas dentro da incerteza operacional proposta de 2 dB.

Outra possibilidade é a incorporação direta desse fator de correção de nível de pressão sonora no cálculo da isolação, de forma a se subtrair o valor fixo de nível de pressão sonora equivalente ao valor obtido, através de medições rentes à fachada, com o objetivo de calcular o parâmetro $D_{2m,nT,w}$. O guia ASTM E966 propõe o uso dos fatores de correção de 2 dB nos casos em que são utilizados microfones próximos à fachada ou de 5 dB quando são utilizados microfones especiais embutidos na fachada (*flush microphones*). Isso, contudo, exigiria mais estudos antes de se propor uma normatização.

Além disso, ressalta-se a importância de utilizar três posições de microfone na fachada, a fim de melhor caracterizar o ruído incidente, durante as medições externas, ou cinco posições se houver varandas, também conforme a exigência apresentada na norma ISO 16683-3 (ISO, 2016).

Vários dos artigos citados apontam a possibilidade de que caixas acústicas não sejam sempre as fontes sonoras mais adequadas para a realização

de medições de isolação sonora de SVVE em campo. A própria norma ISO 16283-3 (ISO, 2016) indica que o método que utiliza o tráfego como fonte de ruído é o "preferido para estimar isolação sonora global de uma fachada", situação típica de grandes cidades, onde é comum a construção de edifícios altos. O mesmo documento assinala também a aplicação do método que emprega alto-falantes como uma alternativa ao anterior.

Usualmente, a utilização de caixas acústicas com ruído padronizado permite que as medições efetuadas no ambiente externo e interno sejam feitas em momentos distintos. Contudo, ao se utilizar o ruído de tráfego que apresenta variações significativas tanto no nível de ruído como na composição espectral ao longo do tempo, as medições no exterior e no interior da edificação devem ser realizadas simultaneamente, evitando, desta forma, a influência das oscilações naturais do tráfego na qualidade das medições.

Sugere-se aqui que, para que o método possa ser utilizado de forma adequada, sejam analisados previamente os espectros sonoros produzidos pelo ruído de tráfego a ser utilizado nas medições, de forma a satisfazer não apenas aos critérios geométricos descritos na norma ISO 16683-3 (ISO, 2016), mas também a apresentar um nível total de pressão sonora superior a 70 dB, medido na fachada, garantindo haver energia sonora suficiente para que seja avaliada a isolação sonora com razoável confiabilidade metrológica.

Destaca-se, contudo, que durante avaliações de desempenho dentro do contexto do mercado brasileiro podem ser encontradas fachadas de edifícios próximas a outros prédios, de forma que o efeito de sucessivas reflexões, as quais não são previstas na norma ISO (já que esta exige total visibilidade da linha de tráfego a partir da fachada em análise), se fazem presentes. O erro produzido por tal efeito, todavia, será ainda melhor analisado.

Com base nos estudos aqui descritos, verifica-se que é possível adotar-se o método de elemento com uso de ruído de tráfego, descrito na norma ISO 16283-3 (ISO, 2016), tomando os cuidados acima discutidos para se realizar a estimativa do isolamento sonoro de fachadas em campo, complementando a norma NBR 15575-4.

Referências

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – **ASTM E966.** Standard Guide for Field Measurements of Airborne Sound Insulation of Building Facades and Facade Elements. 10e1, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10152:** Níveis de ruído para conforto acústico – Procedimento. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575:** Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Quarta Edição, 2013.

HALL, F.L; PAPAKYRIAKOU, M.J.; QUIRT, J.D. Comparison of outdoor microphone locations for measuring sound insulation of building facades. **Journal of Sound and Vibration**, v. 92, n. 4, p. 559-567, 1984.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – **ISO 140:** 1998. Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Field Measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades. Second Edition, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – **ISO 717-1:** 2013. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation. Third Edition, 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – **ISO 16283-3:** 2016. Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 3: Façade Sound Insulation. First Edition, 2016.

LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE DOS EDIFÍCIOS-CETAC-IPT. **Certificado de Calibração Nº127 123-101.** Item: Analisador de Nível Sonoro; Identificação: MNS-02, 2013.

MACHIMBARRENA, M.; MONTEIRO, C.R.A.; PEDERSOLI, S.; JOHANSSON, R.; SMITH, S. Uncertainty determination of in situ airborne sound insulation measurements. **Applied Acoustics**, v. 89, pp. 199-210, 2015.

OLAFSEN, S.; **Measurements of facade sound insulation using a loudspeaker or railbound vehicles as sources**. Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting, BNAM2012, 2012.

SÁNCHEZ BOTE, J.L.; PEDRERO GONZÁLEZ, A.; GÓMEZ ALFAGEME, J.J. Influence of loudspeaker directivity and measurement geometry on direct acoustic levels over façades for acoustic insulation tests with the International Standard ISO 140-5. **Applied Acoustics**, v. 73, pp. 440-453, 2012.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-5953-029-2.2017C0006.p.127-168

Proposta de Aprimoramento do Ensaio de Ação de Calor e Choque Térmico na NBR 15575

6

João Heitzmann Fontenelle
Claudio Vicente Mitidieri Filho
Adriana Camargo de Brito
Cristina Kanaciro
Luciana Alves Oliveira
Fúlvio Vittorino

1. O Ensaio de Ação de Calor e Choque Térmico

O ensaio de Ação de Calor e Choque Térmico – ACCT, previsto na NBR 15575-4 (ABNT, 2013), é um método de avaliação de desempenho a ser considerado no fator de "Durabilidade" dos Sistemas de Vedação Vertical – SVVE – de uma habitação, sendo um dos poucos previstos no conjunto de requisitos relativos a esse fator, que é aplicável a qualquer sistema de fachada, independentemente dos seus materiais constituintes e do projeto da fachada. Observa-se que, nessa norma, há também referências a outros ensaios específicos para a avaliação de durabilidade, como o de corrosão e de exposição aos raios UV, que se destinam, respectivamente, a paredes e sistemas constituídos por componentes metálicos e por materiais orgânicos. Além do ensaio de ACCT, deve-se levar em conta os agentes de degradação mais agressivos para cada tipo de material empregado nos SVVE de uma edificação, detalhando-se parâmetros e métodos de análise específicos, como tem ocorrido nas Diretrizes de Avaliação Técnica elaboradas no âmbito do SiNAT. Essas outras ações, todavia, não são consideradas neste capítulo.

O ensaio de ACCT foi concebido com o intuito de avaliar o efeito do aquecimento e do subsequente resfriamento brusco da fachada, como ocorre em dias verão, quando, após uma exposição prolongada à radiação solar, ela é resfriada por uma chuva de verão. Esse ensaio vem sendo utilizado desde o final da década de 1970 e início da década de 1980 e tem sido eficaz para detectar alguns problemas sistemáticos que poderiam ocorrer em edificações. Evidentemente, quando foi incorporado às avaliações técnicas no Brasil, há praticamente 40 anos, o estado da arte dos sistemas de fachadas era bem diferente do atual. Também eram mais restritas as possibilidades de controle e automação do ensaio. Com o procedimento de ensaio apresentado na NBR 15575-4 (ABNT, 2013), era possível identificar problemas, por exemplo, de concepção de fachadas, que geravam uma fissuração sistemática ou que causavam falência de sistemas de juntas ou de revestimentos.

A partir da década de 2000, com a intensificação das atividades avaliação de desempenho de diversos sistemas construtivos com conceitos fortemente inovadores pelas diversas Instituições Técnicas de Avaliação – ITA´s, integrantes do Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Sistemas Inovadores e Convencionais – SiNAT, passou-se a perceber a necessidade de aprimoramento de alguns aspectos do método de ensaio, considerando: as dimensões do corpo de prova, em particular seu comprimento; a necessidade de restrição à livre movimentação do corpo de prova (confinamentos laterais); as temperaturas limites do ensaio, em razão da capacidade térmica do elemento construtivo; a temperatura e a vazão da água para fazer o resfriamento brusco do elemento; a velocidade de aquecimento do corpo de prova; a duração dos patamares de temperatura; e o número de ciclos.

Neste capítulo, são apresentadas análises e discussões acerca da adequação de vários aspectos do método de ensaio atualmente em vigor e da possibilidade de aprimoramentos, para que, em uma futura revisão da NBR 15575-4 (ABNT, 2013), esse método possa ser também revisto e atualizado.

2. Comportamento Higrotérmico de um SVVE

Durante a vida útil de um edifício, o SVVE permanece exposto ao clima do local, estando sujeito a variações de temperatura e de umidade em ciclos com diferentes períodos de ocorrência, tais como: os mais longos, com

a alternância de características climáticas das estações ao longo do ano; os diários, relativos à transição do período mais quente, durante o dia, para o mais frio, durante a noite; ou períodos muito curtos em que as variações podem ocorrer de forma brusca, como o efeito do resfriamento instantâneo de uma chuva de verão sobre uma parede previamente aquecida pelo sol.

Essas variações das condições ambientais desencadeiam fluxos de calor e de água através dos componentes do SVVE, que resultam em gradientes de temperatura e de umidade ao longo do sistema de vedação. Tal situação, por sua vez, provoca alterações volumétricas (tanto dilatação como contração) nesses componentes, gerando tensões que podem ultrapassar as máximas toleráveis pelos materiais constituintes e resultar em fissuras no sistema de vedação.

Cada tipo de ciclo de variação das condições de exposição ambientais pode proporcionar tensões que atuam de diferentes formas e intensidades sobre o SVVE. Isso ocorre de forma distinta entre elementos pesados de capacidade e resistência térmicas significativamente diferentes, como as alvenarias e os elementos leves, ilustrados na Figura 1. Essas diferentes propriedades térmicas dos elementos de vedação resultarão em fluxos de calor e perfis internos de temperatura, ao longo da seção do SVVE, para uma mesma diferença de temperatura entre suas faces, como ilustrado na Figura 2.

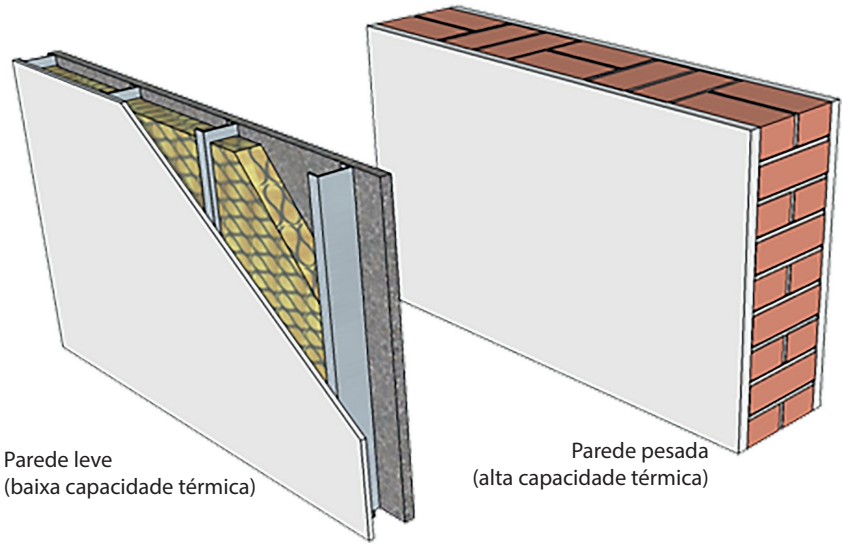


Figura 1. Exemplos de parede leve e pesada. Ilustração: Adriana C. de Brito.

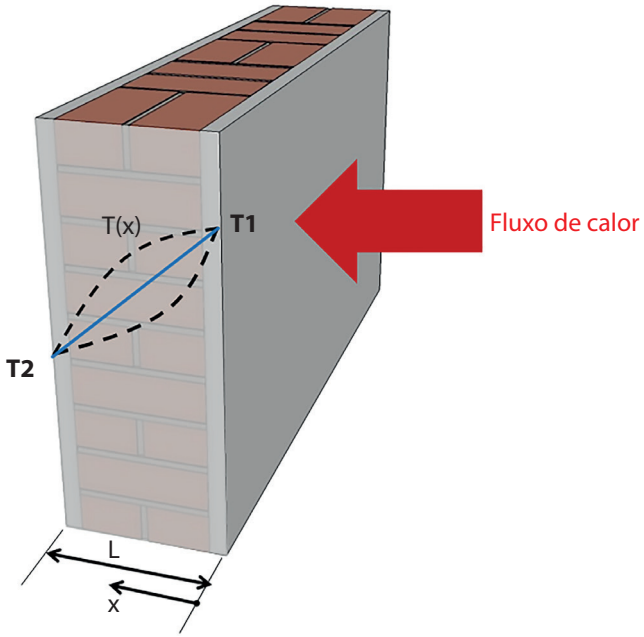


Figura 2. Exemplos de distribuição de temperatura e fluxo de calor por condução através de uma parede plana, desenho baseado em Kreith e Bohn (2003). Ilustração: Adriana C. de Brito.

Em linhas gerais, mantendo a mesma resistência e capacidade térmica de um SVVE constituído por material homogêneo, quanto mais rápida for a variação da temperatura de uma face externa, maior será a inclinação da curva de declínio da temperatura à medida que se afasta da face aquecida em direção à face interna da vedação. Também, em linhas gerais, pode-se dizer que quanto maior for a resistência térmica do SVVE, mais rápida se dará a elevação da temperatura superficial da sua face externa.

Mesmo em uma situação em que não há variação na quantidade total de água de uma parede, a simples variação de sua temperatura também afetará a distribuição teor de umidade contida nos poros dos materiais constituintes dos SVVE. Nestes casos, à medida que um SVVE se aquece, altera-se o próprio diâmetro dos poros, a pressão capilar, além das energias das ligações entre a água e moléculas higroscópicas que podem estar presentes nos materiais e, decorrentemente, a umidade relativa no interior dos poros.

Entretanto, as deformações e os deslocamentos resultantes, tanto nas condições de exposição natural como no ensaio de ACCT, são proporcionados pela variação conjunta de temperatura e de umidade. Não é possível

dizer, de forma generalizável, qual é o fenômeno preponderante, uma vez que há expansão quando se dá o aumento de temperatura, e retração quando ocorre a perda de água.

De fato, há determinados produtos, como as placas à base de cimento, nas quais as variações decorrentes da alteração de umidade podem ser mais significativas que as variações devido à mudança de temperatura. A variação conjunta da temperatura e a da umidade é um fenômeno complexo, que não será detalhado de modo aprofundado neste trabalho.

Contudo, é conveniente salientar que a maioria dos materiais utilizados para a produção de vedações possui poros relativamente pequenos, o que torna lento o transporte de água em seu interior e reduzida a intensidade do movimento do líquido da superfície para o interior, quando se empregam sistemas de pintura de baixa permeabilidade. Nestes casos, pode-se atribuir a deformação verificada nos instantes em que o choque térmico ocorre ao fato de ser predominantemente resultante da variação da dilatação térmica, fator estudado com maior ênfase neste trabalho.

3. Tensões Decorrentes do Gradiente de Temperatura Durante o Choque Térmico

A velocidade da variação de temperatura da face exterior de um SVVE é um fator determinante para a transferência de calor por condução para o interior dos materiais e, consequentemente, para o estabelecimento do perfil do gradiente de temperatura ao longo da seção da vedação. Esse perfil de temperatura, por sua vez, será o principal causador de deformações por dilatação térmica, que gerarão tensões no corpo. Quando o estabelecimento desse gradiente de temperaturas se dá de forma lenta, há a possibilidade de que as dilatações térmicas ocorram de forma suave, promovendo uma redistribuição dessas tensões, fazendo com que não se chegue a exceder o limite de ruptura.

Uma chuva de verão que atinge uma parede previamente aquecida pela radiação solar incidente em sua superfície é um dos fatores que proporcionam a variação abrupta da temperatura da face externa da parede em comparação com a temperatura da face interna ou de seu núcleo. Como resultado, tem-se uma contração térmica da superfície, enquanto as camadas mais internas do SVVE permanecem aquecidas e dilatadas, condição que impõe restrições ao processo de contração da superfície e gera tensões. Assim, o choque térmico ocorre no momento de declínio da temperatura da fachada. Os parâmetros da chuva que resfria a parede, tais como a temperatura e a vazão da água que escorre sobre a face do SVVE, podem alterar a velocidade da transição

da temperatura, alterando o gradiente de temperatura ao longo da seção da parede e, consequentemente, as intensidades das tensões proporcionadas por essa variação de temperatura.

Partindo da observação de um ensaio de ACCT feito com uma parede maciça de material homogêneo, propõe-se um modelo simplificado da distribuição do gradiente de temperatura ao longo da seção de um SVVE, durante o fenômeno do choque térmico. Consideraram-se as alterações de valores verificadas nas faces do corpo de prova, tais como a temperatura da face externa, a temperatura da face interna e os deslocamentos transversais a essas faces.

No interior de um SVVE maciço de material homogêneo (admitido essa forma simplificada para facilitar a discussão do tema), o gradiente de temperatura ao longo da seção da parede antes da incidência da chuva pode ser representado tal como se indica na Figura 3a. A inclinação da curva de temperatura pode variar conforme a intensidade da radiação que incidiu em sua face, das propriedades térmicas dos materiais ou tempo de aquecimento. Quando a chuva principia e atinge a face externa da parede, um fluxo do calor na seção da vedação analisada se inicia a partir do ponto em que a temperatura apresenta o seu maior valor e se desloca em direção à face externa, enquanto outro fluxo continua ocorrendo em direção à face interna, como apresentado na Figura 3b. À medida que o tempo passa, o pico de temperatura interna diminui e, ao mesmo tempo, desloca-se em sentido à face interna. Assim, temperatura da face externa diminui, enquanto a temperatura da face interna continua aumentando (Figura 3c). Esse pico de temperatura interna irá reduzir continuamente. Se as camadas mais internas do SVVE não tiverem elevada resistência térmica, o pico de temperatura continuará se deslocando em direção à face interna, para, a partir desse momento, iniciar a redução da temperatura da face interior (Figura 3d).

Como já citado, as tensões geradas nesse processo são predominantemente proporcionadas pela dilatação térmica, visto que o modelo considerado foi constituído por um material com baixa percolação ou absorção de água, com baixa variação por efeito de umidade. Considerando-se um plano vertical o ponto em que a temperatura da seção da parede apresenta o seu maior valor (Figura 4a e 4b), verifica-se a existência de dois segmentos de paredes paralelas: o segmento de parede “A” e o segmento de parede “B”, ligados entre si. Cada um deles com espessuras diferentes e variáveis ao longo do tempo, conforme o pico de temperatura se desloca, mas com inclinações das respectivas curvas de temperatura opostas uma em relação à outra (Figura 4b).

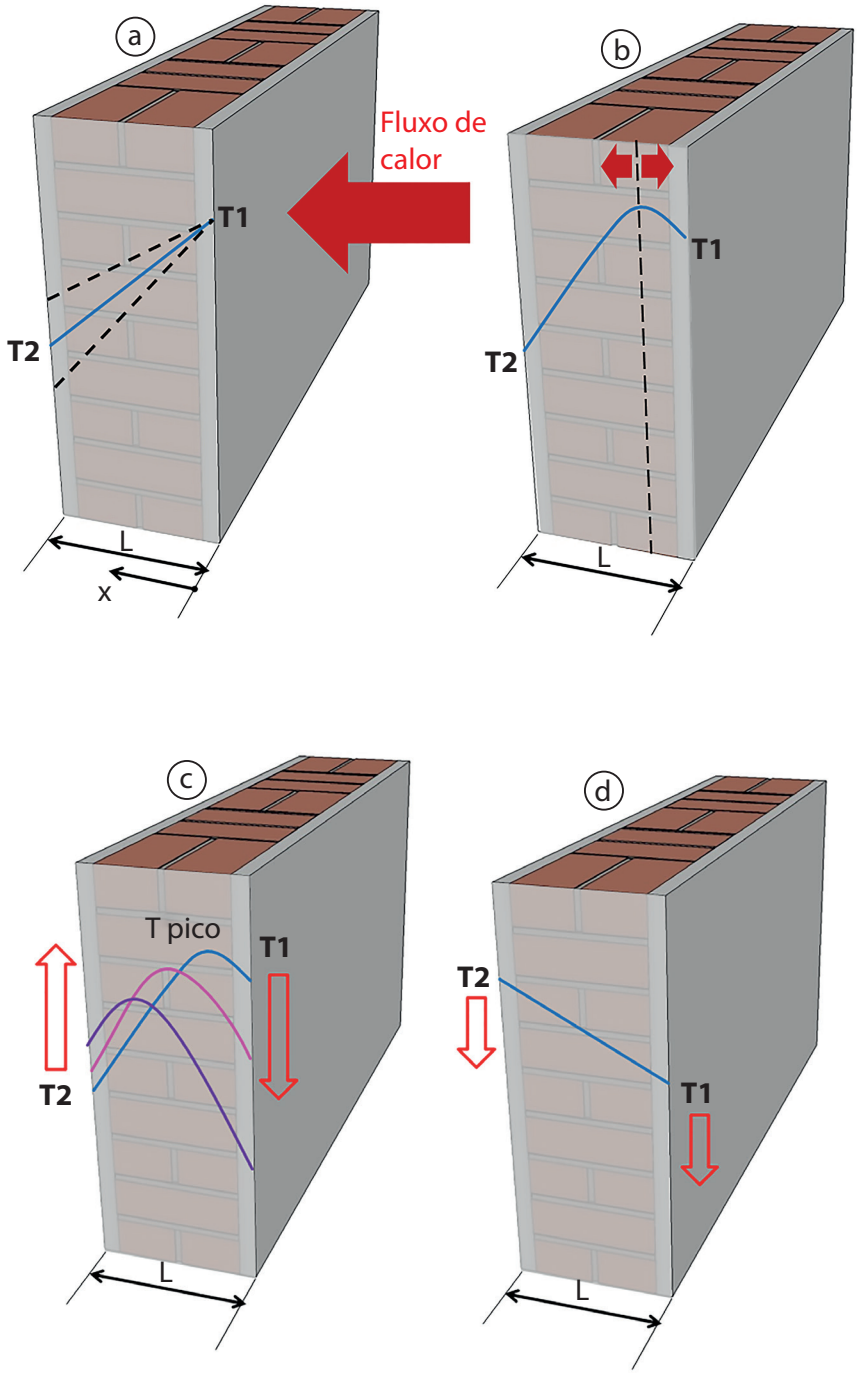


Figura 3. Hipótese de modelo de variação do gradiente térmico na seção da parede, desenho baseado em Kreith e Bohn (2003). Ilustração: Adriana C. de Brito.

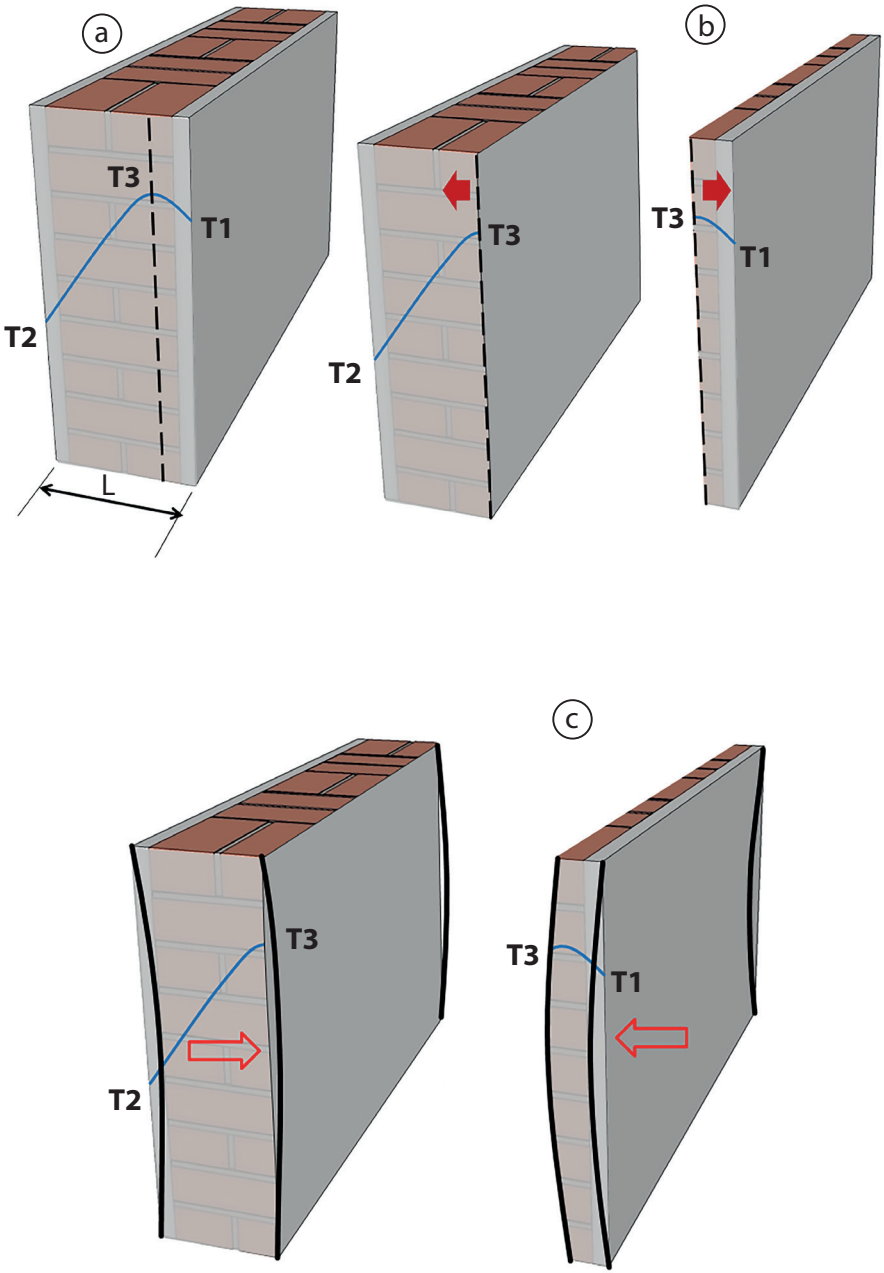


Figura 4. Hipótese de modelo de variação do gradiente térmico na seção da parede, desenho baseado em Kreith e Bohn (2003). Ilustração: Adriana C. de Brito.

Analisando-se a tendência de deformação de cada um dos segmentos de parede separadamente, percebe-se que o sentido de deslocamento de cada uma delas será oposto ao da outra. Enquanto a região central do segmento de parede "A", com a face externa do SSVE, desloca-se em sentido à face interna, o segmento de parede "B" apresenta o deslocamento no sentido oposto (Figura 4c). Tais ocorrências geram tensões no alinhamento do plano imaginário entre essas paredes. Como esse plano desloca-se pela seção, à medida que se resfria a face externa da parede, seu efeito também se desloca ao longo dessa seção. Quanto maior for a variação da temperatura em cada lado, maiores serão as tensões. Como os picos de temperatura na seção transversal da parede apresentam seu maior valor nos momentos iniciais do choque térmico, a magnitude das forças atuantes também é maior no início do processo de resfriamento, reduzindo sua intensidade com o passar do tempo.

Em razão das variações dessas tensões, o ciclo de variação de temperatura em um curto espaço de tempo, ou seja, o choque térmico, é considerado um dos agentes de agressividade mais representativos para avaliar se um SVVE tem o potencial de suportar as tensões decorrentes da ação dos agentes climáticos ao longo de sua vida útil, principalmente, tratando–se de um sistema inovador.

Essas tensões se distribuem pelos corpos dos SVVE, através da ação e reação dos elementos adjacentes que constituem a vedação, até se depararem com sistemas apropriados que possam absorvê-las, ou pontos falhos com alguma deficiência de coesão. Caso encontrem juntas de dilatação flexíveis, por exemplo, as tensões serão absorvidas por sua deformação. Por outro lado, caso se deparem com uma falha de aderência entre componentes, as tensões podem ser aliviadas pela ocorrência de fissuras ou descolamentos.

4. O Ensaio de Choque Térmico Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013)

4.1. Considerações Sobre o Ensaio de ACCT

O ensaio de ACCT é um ensaio acelerado de laboratório, ou seja, tem como objetivo acelerar o processo de envelhecimento da parede para, deste modo, possibilitar a verificação, em um período reduzido de tempo, dos efeitos que a variação térmica pode proporcionar a um SVVE. Por meio desse ensaio, procura-se verificar a eventual ocorrência de danos ou falhas

que poderão comprometer o desempenho da parede de fachada ao longo do tempo, além de limitar os deslocamentos da parede de fachada.

A aceleração do processo de envelhecimento em laboratório pode ocorrer por dois processos, podendo ser usados separada ou concomitantemente. O primeiro consiste em aumentar a frequência da ocorrência dos agentes de agressividade mais críticos, com as mesmas intensidades que são verificadas em situação de uso. Nesse processo, o foco do controle concentra-se em reproduzir a mesma intensidade da agressão, por meio do controle dos parâmetros dos agentes de agressividade, assim como o reestabelecimento de uma situação inicial comum do corpo de prova, com características similares às que se verificam em situação de uso.

O segundo processo consiste em aumentar a intensidade dos agentes de agressão em relação à intensidade verificada em situação de uso. Nesse caso, é importante efetuar uma análise prévia dos efeitos desses ensaios acelerados feitos em laboratório em comparação com os efeitos do envelhecimento natural, pois é necessário limitar a intensidade dos agentes de agressividade para se evitar a ocorrência de fenômenos de degradação secundários, ou seja, degradações que não se verificam durante o envelhecimento em exposição natural.

A aceleração do ensaio de ACCT baseia-se no processo de aumento da frequência de ocorrência de agentes de agressividade mais críticos, mantendo a intensidade da agressão muito próxima da intensidade com que ocorrem em situação de uso mais agressiva. Tal opção pode ser justificada pela abrangência de tecnologias que se pretende avaliar por meio desse ensaio, com vedações constituídas de diversos materiais e que, portanto, podem apresentar diferentes comportamentos em relação à variação na intensidade dos agentes de agressão. Adota-se como pressuposto para a realização do ensaio de ACCT que, se um SVVE for capaz de resistir por certo número de ciclos às maiores tensões possíveis de serem induzidas no corpo do seu sistema, será capaz de resistir aos ciclos de tensões de menores magnitudes que costumam ocorrer com uma maior frequência, no decorrer da sua vida útil.

4.2. Breve Histórico da Origem do Ensaio e sua Evolução até Chegar ao Anexo E da NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

O método atual de ensaio de ACCT tem mantido sua redação, seus parâmetros de ensaios e ilustrações inalterados nos últimos 36 anos. A

primeira publicação brasileira que faz referência ao método desse ensaio foi em um documento técnico elaborado pelo IPT para o extinto BNH, Banco Nacional da Habitação, no final dos anos de 1970 e início dos anos de 1980 (IPT, 1981). Esta foi a primeira vez que se desenvolveu um documento técnico, visando fixar diretrizes para avaliação de desempenho de habitações térreas unifamiliares no Brasil, incluindo o aspecto de durabilidade, além de outros assuntos. Em 1995 o texto inicial sofreu adaptações, em razão de um projeto de pesquisa realizado com apoio da FINEP. Um dos resultados desse projeto foi a publicação, em 1998, de um texto para discussão dos critérios e métodos que poderiam ser adotados no Brasil para avaliação de habitações. A referida discussão foi conduzida pela antiga Secretaria de Habitação e Secretaria de Planejamento Urbano do Ministério de Planejamento e Orçamento. Tal publicação foi intitulada "Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social" (IPT, 1998).

Os parâmetros adotados nos critérios e no método de ensaio, desde o final de 1970, foram obtidos em documentos estrangeiros da época e adaptados em razão das condições de exposição no Brasil e da experiência da equipe do IPT naquele período. Os documentos estrangeiros mais importantes vinham da França, em especial do *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* – CSTB; da Bélgica, do *Centre Scientifique et Technique de la Construction* – CSTC; dos EUA, da Operação *Breakthrough*; do Reino Unido, do *Building Research Establishment* – BRE, dentre outros, como documentos elaborados no âmbito do PNUD, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento.

Anteriormente à instauração da CE – Desempenho de edificações, no início, no início da década de 2000, houve um trabalho, coordenado pelo COBRACON, que organizou o primeiro texto base da NBR 15575 (ABNT, 2013). A primeira publicação da NBR 15575 foi em 2008 e, após revista, foi publicada novamente em 19 de fevereiro de 2013, passando a ser válida a partir de 19 de julho de 2013.

4.3. O Método de Ensaio Atual de ACCT

Em geral, os ensaios de ACCT baseiam-se no princípio de elevar a temperatura da face de um corpo de prova até uma temperatura específica, denominada aqui de temperatura de patamar, manter a face submetida à análise nessa temperatura por um determinado período de tempo e depois

resfriá-la bruscamente pela aspersão de água. A diferença entre os métodos, verificados em normas e documentos técnicos, está na definição do valor da temperatura, do tempo de permanência nesse patamar, no controle das variáveis de resfriamento, na definição de intervalos entre ciclos e no número de ciclos. Os parâmetros básicos especificados pelo anexo E da NBR 15575-4 (ABNT, 2013) são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros básicos do método de ACCT – Anexo E da NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

Parâmetro	Referência
Largura* corpo de prova	≥ 1,20 m ± 0,20 m
Altura do corpo de prova	"parede acabada" Em geral, pé direito típico
Temperatura de patamar (Tp)	(80 ± 3)ºC
Tempo de permanência na Tp	1 hora
Intervalo entre interrupção da radiação e início resfriamento	Imediato
Tempo de resfriamento	Não definido
Condições para fim do resfriamento	Temperatura da face aquecida = (20 ± 5)ºC
Intervalo entre ciclos	Não definido
Número de ciclos	10

* Também é adotado o termo comprimento do corpo de prova neste capítulo.

Nessa norma há informações sobre controle dos parâmetros do ensaio, como o posicionamento dos cinco termopares em que serão verificadas as temperaturas. Além disso, o método determina que seja registrado o valor da flecha (deslocamento horizontal) que ocorre no centro da parede, transcorridos 45 minutos do início do tempo de patamar de temperatura e após o resfriamento do corpo de prova. Também deve ser feito o registro de degradações que ocorrem ao longo do ensaio, especificando qual tipo de falha e em qual momento foi verificada.

5. Aspectos do Ensaio de Ação de Calor e Choque Térmico a Serem Aprimorados

O ensaio de ACCT pode contribuir, principalmente, para a avaliação da durabilidade de sistemas inovadores de vedações verticais, permitindo identificar aqueles com comportamento inadequado, quando expostos

ao clima. Nesse contexto, o termo "inovadores" compreende sistemas que não possuem normas técnicas específicas, ou seja, que não têm histórico significativo de obras concluídas, com edificações expostas aos vários climas do território brasileiro, por período relevante de tempo que possibilite identificar aspectos relativos à sua durabilidade.

Como em qualquer análise de desempenho, não se pode considerar somente o resultado obtido no ensaio de choque térmico para tirar conclusões referentes à durabilidade de um componente. É sempre necessária a realização de análises complementares, considerando as reais condições da fachada e do clima local. Com o ensaio de ACCT nos moldes atuais, tem sido observado que, quando há falhas no corpo de prova, é praticamente certo que tais falhas ocorrerão em situação normal de uso. O contrário, porém, não assegura, necessariamente, que não ocorrerão eventuais problemas em edificações, havendo a necessidade de uma análise global do sistema para se ter maior segurança em seu uso.

O ensaio de ACCT tem sido utilizado por vários laboratórios e ITA´s, e sofreu modificações em algumas Diretrizes de Avaliação Técnica, fruto da experiência dessas Instituições na avaliação de novas tecnologias, mais recentemente adotadas na construção de habitações. Essas modificações são relativas ao comprimento do corpo de prova (2,40 m em vez de 1,20 m) e quanto às condições de vinculação laterais. Buscou-se, também, em algumas Diretrizes, associar o ensaio de estanqueidade à água de paredes externas ao ensaio de ACCT, realizando o ensaio de estanqueidade antes e após o ensaio de ACCT.

Contudo, apesar dessa experiência acumulada, há necessidade do aprimoramento do ensaio de ACCT, a partir da revisão e complementação de alguns procedimentos. Na revisão aqui apresentada procurou-se considerar tudo o que é entendido como fundamental para se garantir a sua reprodutibilidade, ou seja, a capacidade das Instituições realizarem o ensaio de uma maneira padronizada. Há variáveis no decorrer do ensaio que necessitam de um controle mais aprimorado e outras que precisam ser ajustadas ou complementadas, considerando-se a relação entre os fenômenos climáticos que se verificam em campo e os parâmetros para realização dos ensaios em laboratório. Do ponto de vista da análise dos resultados e do entendimento do comportamento dos produtos, na prática, é preciso considerar como esses agentes provocam a degradação dos SVVE. Esse

entendimento é fundamental para que o referido ensaio seja um instrumento que auxilie o desenvolvimento tecnológico do setor da construção civil.

5.1. Aspecto 1 – Temperaturas Superficiais Limites

O limite superior da temperatura da face externa aplicada a todos os SVVE, denominado temperatura de patamar (Tp), é hoje de 80°C ± 3°C, independentemente do local onde ele será utilizado, da capacidade térmica, da resistência térmica e de cores de acabamento da parede.

Quando se ensaiam sistemas leves, com o uso de materiais isolantes térmicos posicionados proximamente à face exterior do SVVE, é natural atingir-se temperaturas superficiais mais elevadas do que em situações em que se têm componentes de alta transmitância térmica, os quais podem conduzir o calor para o núcleo do SVVE e elevar a capacidade térmica do local onde esse calor pode ser armazenado, como os já ilustrados na Figura 1.

Isso significa que, ao se impor uma mesma temperatura para todos os corpos de prova, alguns deles serão expostos a condições térmicas as quais jamais estarão sujeitos em condições reais.

5.2. Aspecto 2 – Taxa de Elevação da Temperatura Superficial

Dependendo das características térmicas e físicas dos materiais que compõem o SVVE, é necessário fornecer quantidades significativamente diferentes de energia para que o componente atinja o valor da temperatura de patamar em tempos razoáveis. A título de exemplo, cita-se que, em ensaios realizados no Laboratório de Componentes e Sistemas Construtivos do IPT, mantendo-se a mesma taxa de aquecimento, um sistema construtivo composto por placas cimentícias com espessura de 1 cm, levou 30 minutos para atingir a Tp, enquanto painéis monolíticos de concreto convencional, com 15 cm de espessura, demoraram 6 horas.

Conforme discutido na seção acerca do comportamento higrotérmico do SVVE, a alta velocidade de aquecimento de sua face resulta em uma variação mais acentuada ao longo da seção transversal do sistema, resultando em tensões elevadas na parede, devido a diferenças da variação dimensional. Caso se pratique uma taxa de aquecimento muito elevada, pode-se gerar tensões irreais na fase de aquecimento. É razoável considerar que as diferenças

de tensões geradas pela variação da taxa de aquecimento se verifiquem até o momento da vedação atingir a temperatura de patamar. Durante a fase de manutenção dessa temperatura, não deve ocorrer uma intensificação de tal situação.

Portanto, há necessidade de estabelecer parâmetros para a taxa de aquecimento da parede, de forma a se padronizar as condições de exposição a serem adotadas e de não gerar mecanismos de degradação fictícios, decorrentes apenas de questões operacionais da realização do ensaio.

5.3. Aspecto 3 – Controle dos Parâmetros do Fluxo de Água de Resfriamento

É no processo de resfriamento que ocorre a maior taxa da variação da temperatura da parede, sendo necessário o estabelecimento do processo de controle para que cada ciclo de choque térmico proporcione solicitações com intensidade semelhantes entre si e representativas da situação de exposição que for mais crítica na prática. Diferentemente do controle da taxa de elevação da temperatura, o controle, no momento do choque, da taxa de queda da temperatura superficial é muito difícil de ser executado.

Isso porque a curva do resfriamento depende da troca de calor por convecção entre a água que escoa e a face da parede que é banhada pela água da aspersão; e pelo calor conduzido a partir do interior dessa parede, acumulado ao longo da permanência na temperatura de patamar. Esse processo é determinado tanto pelas características térmicas do SVVE como pela rugosidade de sua superfície.

Pode-se abordar a situação de modo mais controlado a partir das variáveis que determinam a taxa de resfriamento do sistema, ou seja, a temperatura e a vazão da água que escorre sobre a face do elemento de vedação. A temperatura da água afeta diretamente a troca de calor convectiva entre a face da parede e o filme de água, enquanto a vazão da água altera tanto o coeficiente de troca como a taxa de transferência de calor.

A aspersão de água com temperatura mais elevada resultará em uma velocidade de redução da temperatura superficial mais branda do que a proporcionada por uma água mais fria. Por sua vez, uma vazão menor implicará em um aquecimento mais rápido da água que escorre sobre a face, diminuindo a taxa de redução da temperatura da face. Nos dois casos, a

variação do gradiente de temperatura da seção da parede altera a intensidade das tensões decorrentes desse gradiente e, consequentemente, a ação que o choque térmico proporciona ao SVVE ensaiado.

Ressalta-se que o método atual não especifica a duração do processo de resfriamento, mas limita a temperatura superficial, que pode variar em razão da temperatura da água. É possível que as condições para início de cada novo ciclo não sejam, necessariamente, as mesmas. Para se melhorar essa situação, pode-se fixar a duração do processo de resfriamento, fato que irá reduzir a variabilidade da quantidade total de energia térmica retirada.

5.4. Aspecto 4 – Tolerâncias entre Valores de Temperaturas da Face da Parede (Diferenças entre Centro e Bordas)

É pertinente uma redefinição da hierarquização e das tolerâncias entre diferenças de temperatura, entre o ponto central e os pontos periféricos do corpo de prova. O conceito de verificar a temperatura da face em cinco pontos, um central e quatro nos cantos diagonais, tem como princípio avaliar a homogeneidade do aquecimento entre a região que recebe mais radiação, a central, e as que são mais sujeitas a trocas de calor com o meio, como os cantos diagonais. Por outro lado, verifica-se na prática que, em alguns SVVE, a diferença entre a temperatura da região central e das bordas ultrapassa o limite de ± 3ºC em alguns momentos do ensaio.

Além disso, todos os pontos de controle dificilmente atingem a faixa de temperatura de tolerância simultaneamente, dificultando a determinação do início do tempo de temperatura de patamar.

5.5. Aspecto 5 – Contenção Lateral dos Corpos de Prova

O atual método de ensaio não prevê a utilização de restrições laterais nos corpos de prova, permitindo que eles dilatem-se livremente, sem sofrer esforços decorrentes da força de reação que restrições periféricas imporiam (Figura 5). Essa é uma situação que precisa ser investigada, pois, em condições reais, não é incomum os SVVE terem suas dilatações resistidas por elementos da edificação que não sofrem a mesma elevação de temperatura, como, por exemplo, pilares de muito maior capacidade térmica ou paredes internas em amarração.

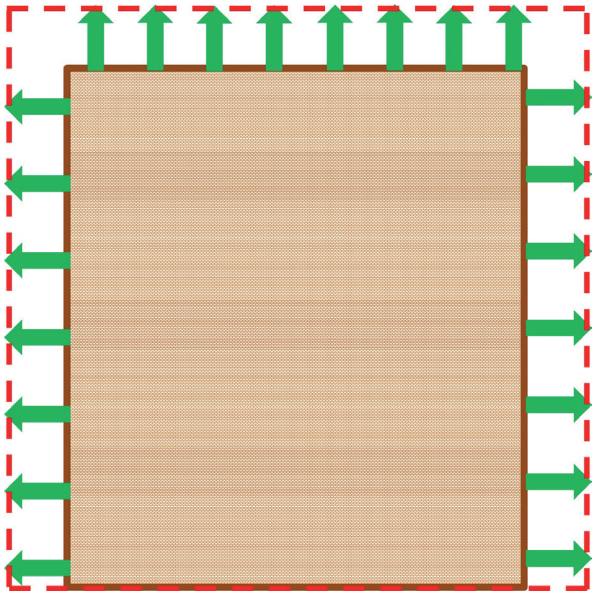


Figura 5. Esquema da variação do perímetro de um corpo de prova sem contenção lateral (FONTENELLE; MITIDIERI, 2016).

Para alguns SVVE constituídos por materiais que possuam dilatações relativamente pequenas por efeito da variação de umidade e temperatura, a contenção pode não ser um fator essencial. Entretanto, para outros sistemas, é possível que o corpo de prova possa apresentar comportamento diferente se vinculado, particularmente se os valores dos coeficientes de variação por efeito de umidade e temperatura forem elevados. Essa hipótese está baseada em observações e análises, quando se comparam os resultados obtidos com vinculações com os de situações em que não há vínculos que impeçam movimentos verticais e horizontais no plano da parede ou do corpo de prova empregado no ensaio.

Contudo, a adoção de dispositivos rígidos de contenção lateral e de vínculos entre esses dispositivos e a borda lateral do corpo de prova podem também proporcionar condições de vinculação diferentes daquelas que seriam verificadas em situação de uso. A aplicação de dispositivos rígidos de contenção pode afetar a amplitude do deslocamento horizontal da parede. Tal deslocamento seria contido pelo vínculo do corpo de prova com o dispositivo de contenção lateral.

5.6. Aspecto 6 – Comprimento do Corpo de Prova

O comprimento do corpo de prova pode proporcionar diferenças nos valores das intensidades das tensões geradas nas paredes. Em paredes com painéis modulares, o tamanho do corpo de prova é relevante para avaliar se as juntas absorvem as deformações específicas decorrentes dessas tensões, sem que haja a ocorrência de falhas. Caso os corpos de prova sejam de 1,20 m, os efeitos podem ser menores, pois, no caso do emprego de juntas, haveria somente dois trechos de 60 cm de parede; se na prática, o módulo for de 1,20 m, pode ocorrer uma deformação específica maior.

6. Método de Geração de Aprimoramentos

Para cada um dos aspectos apontados, foi adotado um método específico de abordagem, baseado em: análises de outros textos normativos internacionais que apresentam ensaios de ACCT; simulações computacionais; e, principalmente, realização de ensaios exploratórios. Cada uma dessas abordagens está apresentada em seu respectivo estudo de aprimoramento.

6.1. Aprimoramento 1 – Temperaturas Superficiais Limites

Para a geração de aprimoramentos referentes aos valores limites da temperatura superficial dos componentes, foram feitos os seguintes procedimentos: revisão bibliográfica, que compreende, além da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), outros documentos estrangeiros; e realização de simulações computacionais da resposta térmica de uma edificação exposta a várias condições climáticas, com o intuito de identificar valores típicos da temperatura de paredes externas, variando-se a capacidade térmica da parede.

6.1.1. Revisão Bibliográfica

Além na norma de desempenho [NBR 15575-4, (ABNT, 2013)] foram consultados documentos estrangeiros que abordam o fenômeno do choque térmico para a avaliação de SVVE, tais como: AS/NZS 2908-2: *Cellulose-cement products Part 2 – Flat sheets* (AZ/NZS, 2000); ASTM C1185 (ASTM, 2008): *Standard Methods for Sampling and Testing Non-Asbestos Fiber-Cement Flat Sheet, Roofing and Siding Shingles, and Clapboards*, (ASTM, 2008); ETAG 004: *Guideline for European techinical aproval of External Thermal*

Isulation Composite Systems with rendering (EOTA, 2008) e ISO 8336: *Fibre-cement flat sheets – Product specification and test metholds*, (ISO, 2009).

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) estabelece o valor de 80 °C de temperatura superficial máxima para o ensaio de choque térmico de qualquer tipo de vedação vertical, seja uma parede de concreto (massa específica de 2400 kg/m³) com espessura de 20 cm, seja uma vedação em placa de OSB (massa específica da ordem de 400 kg/m³), com espessura de 1 cm.

Por outro lado, os métodos de ensaio internacionais determinam um valor limite para a temperatura superficial, com ordem de grandeza entre (60 ± 5)°C a (70 ± 5)°C, em função do tipo de componente avaliado. As normas AS/NZS 2908-2 (AZ/NZS, 2000), ISO 8336 (ISO, 2009) e ASTM C1185 (ASTM, 2008) são aplicáveis a placas cimentícias, e a norma ETAG 004 (EOTA, 2008), a argamassas reforçadas sobre isolantes térmicos rígidos. Esses sistemas possuem uma espessura da ordem de 5 mm a 25 mm, com massa específica entre 1200 kg/m³ e 1800 kg/m³. Por terem densidades próximas, para aquecer esses componentes durante o ensaio, é necessário fornecer a mesma ordem de grandeza de energia térmica, com exposição desses elementos em períodos de tempo próximos, o que não acontece no caso da norma brasileira, a qual não se restringe a uma gama restrita de componentes.

Com base nas análises dos documentos, verificou-se que, no caso do ensaio de choque térmico presente na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), é necessário estabelecer um valor limite para a temperatura da face externa em função da capacidade térmica do SVVE. Nesse sentido, poderiam ser agrupados componentes construtivos com a mesma ordem de grandeza de capacidade térmica, que seriam ensaiados a um determinado valor de temperatura superficial. Dessa forma, para ensaiar componentes dentro da mesma "família" de valores de capacidade térmica, a fim de alcançar os valores da temperatura superficial dessa "família", seriam necessárias quantidades semelhantes de energia, além de tempo de exposição ao calor também similar.

6.1.2. Simulações em Computador

No intuito de estabelecer valores de referência da temperatura superficial de componentes para o ensaio de choque térmico, foram feitas simulações computacionais da resposta térmica de uma edificação com o

programa *EnergyPlus*, a fim de identificar quais seriam os valores típicos da temperatura superficial de vários tipos de componentes, quando expostos a várias condições climáticas extremas.

Foram considerados SVVE com "*capacidade térmica externa*"[1] – CTe de 7 a 200 kJ/(m^2.K), conforme Tabela 2. A capacidade térmica dos componentes leva em conta a espessura, a massa específica e o calor específico das camadas de materiais, como indicado na norma NBR 15220 (ABNT, 2008). Para componentes com material isolante térmico, a *capacidade térmica* da envoltória *externa* do componente foi calculada levando em conta somente as camadas a partir desse material, voltadas para o ambiente externo. Esse procedimento foi adotado, pois, no contexto do ensaio de choque térmico, é relevante a capacidade térmica da porção da parede que está exposta ao clima. Essa forma de se calcular a capacidade térmica é diferente da utilizada no contexto da avaliação do desempenho térmico de habitações pelo método simplificado da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), na qual é levada em consideração a *capacidade térmica interna*, que considera as camadas de material entre a face interna da parede e a camada de material isolante térmico.

Para situações típicas de exposição da edificação ao clima, selecionaram-se dados de um dia típico de verão da cidade de Porto Velho – RO, provenientes da NBR 15575 (ABNT, 2013), local que apresenta maior valor de radiação solar global em comparação com os dias típicos de outras cidades. Foram consideradas outras duas condições climáticas mais rigorosas: a que leva em consideração os dados de dias típicos de verão constantes nos arquivos climáticos do programa *EnergyPlus* para Porto Velho, com frequência de ocorrência de 5%; e a delimitada a partir dos dados do dia típico de verão da cidade de Porto Velho, indicado na NBR 15575 (ABNT, 2013), considerando-se um valor da radiação global incidente no plano horizontal significativamente maior que o valor indicado na referida norma. Nas três situações analisadas, adotou-se velocidade do vento igual a zero, para se considerar uma condição crítica, na qual as trocas se dão por convecção natural, gerando assim a mais alta temperatura superficial da parede externa possível. Os dados climáticos da cidade são apresentados na Tabela 3.

1 Termo novo, proposto para diferenciar da "capacidade térmica", usualmente adotada para fins de avaliação de desempenho térmico. Considera-se, no caso do emprego de núcleos isolantes térmicos, apenas uma parte do elemento construtivo.

Tabela 2. Capacidade térmica dos componentes da parede com camadas descritas a partir da face externa.

SVVE	CTe [kJ/(m².K)]
0,5 mm de aço, 5 cm de Polisocianurato e 0,5 mm de aço	7
Chapa cimentícia com espessura de 1 cm, lã de rocha com 5 cm de espessura, placa de gesso acartonado com 1,25 cm de espessura	29
2 cm de argamassa reforçada, 20 cm de poliestireno expandido e 2,0 cm de argamassa reforçada	61
3 cm de argamassa comum, 6,5 cm de EPS e 3 cm de argamassa comum	74
Blocos cerâmicos vazados com dimensões 9 cm × 14 cm × 19 cm, revestidos em ambas as faces com 1,5 cm de argamassa comum	121
Blocos vazados de concreto com dimensões 14 cm × 19 cm × 39 cm, revestidos em ambas as faces com 2 cm de argamassa comum	172
Painel vazado de PVC com espessura de 3 mm, preenchido com concreto comum com espessura de 8 cm	199
Painel de concreto leve com espessura de 10 cm	200

Tabela 3. Dados climáticos da cidade de Porto Velho.

Fonte	Temp. máxima diária (verão) (°C)	Amplitude diária de temp. (°C)	Temp. de bulbo úmido (°C)	Radiação solar (Wh/m²)
NBR 15575	34,8	12,5	26	6.666
USDOE	35,4	10,4	25,6	7.059
NBR 15575 c/ maior radiação	34,8	12,5	26	13.000

As paredes externas foram simuladas voltadas à direção Oeste, com absortância à radiação solar de 0,3 a 0,9, correspondendo desde cores claras até cores escuras e com sujidade. Com o objetivo de compor valores de referência para a temperatura da parede no ensaio de choque térmico, foram utilizados como referência os resultados obtidos em paredes com absortância de 0,5 (cor média) e 0,9 (cor muito escura) com o intuito de considerar, respectivamente, a sujidade de paredes claras e escuras em edificações construídas. Nas Figuras 6 e 7, são apresentados os valores máximos das temperaturas superficiais obtidos, respectivamente, para paredes com cor média e cor escura (absortância de 0,5 e 0,9) em função da sua capacidade térmica externa, para os três dias típicos definidos.

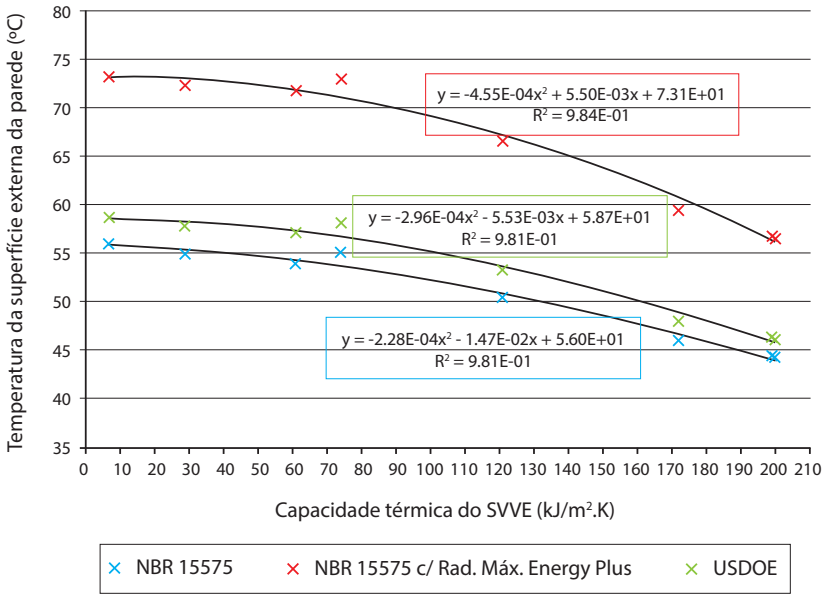


Figura 6. Temperatura superficial máxima da face externa da parede em função da sua capacidade térmica para paredes com cores médias.

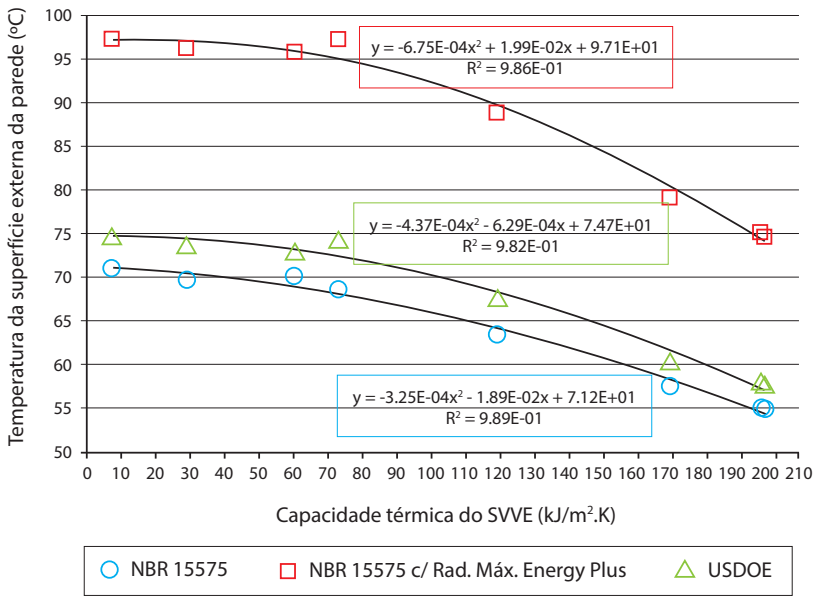


Figura 7. Temperatura superficial máxima da face externa da parede em função da sua capacidade térmica para paredes com cores escuras.

6.2. Aprimoramento 2 – Taxa de Elevação da Temperatura Superficial

O método adotado para a lacuna concernente à taxa de elevação da temperatura superficial foi a revisão bibliográfica comparativa e a análise da variação do gradiente de temperatura em ensaios já realizados. Dentre os documentos técnicos verificados, apenas a ETAG 004 (EOTA, 2008) especifica uma taxa máxima de elevação da temperatura superficial.

Observa-se que, o referido documento é o único que determina a realização da medição direta da temperatura na face da parede, além da NBR 15575 (ABNT, 2013). Outros métodos de ensaio utilizam, para controlar a elevação de temperatura, um sensor de temperatura independente, instalado sobre uma superfície isolada termicamente e recoberto com tinta de alta absorção térmica, representando um corpo negro.

6.3. Aprimoramento 3 – Controle dos Parâmetros do Fluxo de Água de Resfriamento

O método aplicado para a lacuna referente ao controle dos parâmetros do fluxo de água de resfriamento foi o levantamento bibliográfico em normas, estudo de relatórios de ensaios anteriores e inspeção termográfica da superfície de corpos de prova, preparados especificamente para a presente pesquisa. Foi feito também levantamento com relação à temperatura da água de chuva no Brasil. Os parâmetros relacionados com a temperatura, vazão da água e tempo de aspersão são verificadas nos métodos de ensaio encontrados nos documentos técnicos pesquisados. Os valores encontram-se na Tabela 4

Tabela 4. Parâmetros aplicados à aspersão de água.

Documento	Fluxo	Temp. (°C)	Tempo
ISO 8336	1 L/(m^2 . min)	-	2 h 50 min ±5 min
ASTM C1185	≈ 1 L/(m^2 . min)	< 30°C	2 h 55 min
ETAG 004	1 L/(m^2 . min)	(15 ± 5)°C	1 h

A vazão indicada nesses documentos é da mesma ordem de grandeza, o que, contudo, não acontece com a temperatura e com o tempo de aspersão. O menor tempo de aspersão verificado foi de 1 hora, encontrado na ETAG 004 (EOTA, 2008). Apenas a ISO 8336 (ISO, 2009) não especifica a

temperatura da água. No atual método previsto na NBR 15575-4 (ABNT, 2013), esses parâmetros não são contemplados.

6.4. Aprimoramento 4 – Tolerâncias entre Valores das Temperaturas do Corpo de Prova (Bordas e Centro)

O método considerado para a formulação da proposta baseou-se na pesquisa bibliográfica e na experiência de ensaios realizados. Os valores definidos nas normas técnicas pesquisadas estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros aplicados às temperaturas do corpo de prova.

Documento	Ponto central (Pc)	Pontos da borda
ISO 8336	60°C ± 3°C	Pc °C ±15°C
ASTM C1185	60°C ± 5°C	60°C ± 3°C
ETAG 004	70°C ± 5°C	-

As tolerâncias admitidas para a temperatura do ponto central variam entre 3°C e 5°C. Entretanto, para as temperaturas dos pontos de borda, observam-se diferenças significativas entre os documentos analisados. Ressalta-se que o limite admitido para a diferença entre as temperaturas de borda e a temperatura do ponto central no caso da ISO 8336 (ISO, 2009) é bem alto, de 15°C, situação que pode ser conseguida sem maiores esforços. O ponto central é sempre a referência para as temperaturas do corpo de prova, consideração de extrema razoabilidade, dado que o ponto central representa a média de toda a região, é o local da medição dos deslocamentos, e os pontos periféricos representam uma medida da homogeneidade da distribuição de temperaturas.

6.5. Aprimoramento 5 – Contenção Lateral dos Corpos de Provas

Para a geração de aprimoramentos referentes à aplicação de contenção lateral dos corpos de provas, foram feitos os seguintes procedimentos: revisão bibliográfica e realização de ensaios exploratórios.

Em nenhuma das normas mencionadas foram verificadas referências explícitas que abordem a adoção de um dispositivo específico para contenção lateral dos corpos de prova, simulando a continuidade da parede. Existem

referências genéricas, tal como verificada na ASTM C1185 (ASTM, 2008), as quais mencionam que a montagem de uma estrutura de teste deve ser feita de acordo com as recomendações do fabricante e deve também simular a rigidez de uma instalação em canteiro. Entretanto, encontram-se na literatura artigos recentes que descrevem divergências entre os resultados obtidos no ensaio acelerado em laboratório e o verificado pelo acompanhamento de um envelhecimento natural, justificando o estudo de tais dispositivos para a contenção lateral e explicitando as eventuais influências nos resultados.

Em Oliveira et al. (2014), descreve-se a comparação de alguns ensaios realizados com e sem contenção lateral, contrastando os resultados obtidos com o envelhecimento verificado em um protótipo exposto em situação de uso. O sistema construtivo avaliado é constituído por *steel frame* com placas cimentícias na face externa. Apesar de ainda não haver uma definição clara do tipo de contenção lateral, os autores concluem que a realização do ensaio com alguma restrição à expansão demonstrou maior similaridade com a degradação verificada em situação de envelhecimento natural. Em Lorenzi (2015), verifica-se a proposta de aplicar o confinamento das extremidades do corpo de prova como procedimento para simular a situação de contorno mais semelhante às condições reais de uso. A autora propõe uma contenção feita por um quadro de apoio, tal como um pórtico metálico, ajustável nas laterais e na parte superior, de modo a restringir uma possível expansão de seus limites. Em Fontenelle e Mitidieri (2016), são descritas as características teóricas de restrição de movimentação apresentada por um sistema de contenção lateral para simular a situação de uso.

Nos ensaios exploratórios conduzidos neste projeto de pesquisa, procurou-se avaliar também o efeito de uma contenção lateral proporcionada pela continuidade do corpo de prova, além da área sujeita diretamente à ação do calor e do choque térmico. Tal contenção é feita pelo prolongamento das bordas laterais da parede para além dos limites da área de aquecimento por pelo menos metade do comprimento da área aquecida de cada lado. Essa continuidade contribui para conter a expansão ou retração da região aquecida, na direção horizontal no plano da parede, considerando a simulação da situação de uso. Nessas condições, são empregadas no corpo de prova todos os dispositivos, detalhes e simulação de vínculos, como previstos para execução em obra.

6.5.1. Ensaios em Paredes de Alvenaria de Blocos Cerâmicos

Os ensaios exploratórios foram realizados inicialmente em dois corpos de prova de 2,40 m de comprimento, constituídos de alvenaria de blocos cerâmicos com reboco na face externa (Foto 1). No ensaio do CP1, considerou-se uma área de aquecimento com comprimento de 1,20 m e altura igual ao seu pé direito, alinhando-se o eixo do painel radiante, também com 1,20 m de comprimento, ao eixo do corpo de prova (Foto 2). Decorre disso que a continuidade da parede que não foi aquecida tem 60 cm de cada lado da zona de aquecimento, aproximadamente; esses trechos laterais, contínuos, poderão representar uma contenção ao deslocamento e à deformação da parede. Foram monitorados os deslocamentos laterais e os deslocamentos transversais na meia altura da parede. As medições dos deslocamentos transversais foram feitos também no eixo do corpo de prova e a 30 cm das bordas laterais, para representarem o eixo da parte da parede que corresponderia ao elemento de continuidade (Foto 3), além da medida no centro da parede, para efeito de verificação do critério de desempenho quanto ao deslocamento máximo admitido.

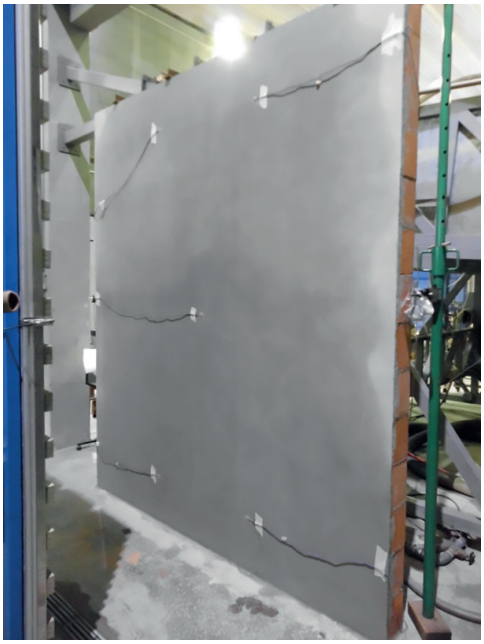


Foto 1. Face do CP1 com termopares.

Foto 2. CP1 – Posicionamento do painel radiante.

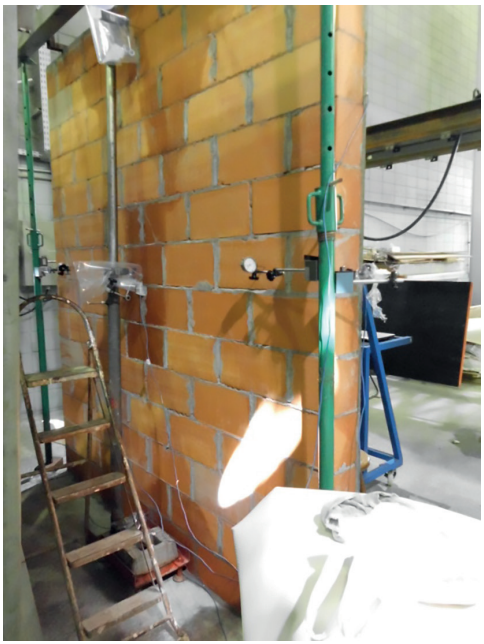


Foto 3. CP1 – Face posterior com localização dos relógios comparadores.

Foto 4. CP2 – Posicionamento dos painéis radiantes para aquecimento de 2,40 m de largura.

O CP2 foi submetido ao ensaio de ACCT aquecendo-se toda a sua face externa, ou seja, 2,40 m de comprimento, por meio de dois painéis radiantes com comprimento de 1,20 m, cada um (Foto 4). Nesse ensaio, não foram considerados elementos específicos de contenção lateral, nem a continuidade da parede fora da região de aquecimento. Os registros de deslocamentos foram feitos nas bordas laterais, a meia altura da parede. Os relógios comparadores da parte posterior foram posicionados no eixo do corpo de prova e a 60 cm da borda lateral, também a meia altura da parede.

Com base em uma análise termográfica feita no decorrer desses ensaios, constatou-se no CP1 que o calor transmitido da área aquecida para a continuidade da parede se distribui por uma largura de aproximadamente 80 mm, além da faixa de 1,20 m (Fotos 5 e 6).

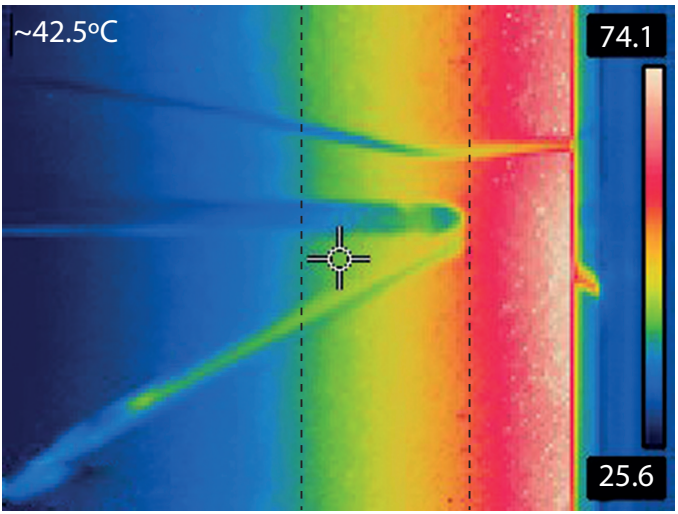


Foto 5. Imagem termográfica da continuidade, além da largura de aquecimento (CP1).

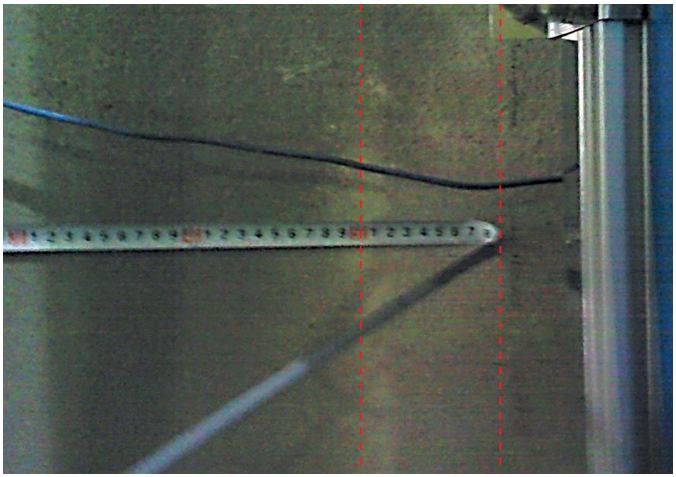


Foto 6. Dimensão relativa à distribuição do calor, além de 1,20 m (CP1).

Houve ocorrência de fissuras horizontais no corpo de prova CP1, localizadas nas extremidades do corpo de prova, apenas na zona de continuidade da parede, ou seja, fora da área de aquecimento (Fotos 9 e 10).

Foto 9. Fissura na lateral esquerda do CP1.

Foto 10. Fissura na lateral direita do CP1.

Os valores médios dos deslocamentos laterais foram de 0,72 mm para a parede com continuidade lateral, aquecida com painel radiante de 1,20 m, e de 1,23 mm para a parede aquecida completamente. Considerando-se a base das medidas como o comprimento do corpo de prova, de 2,40 m, obtém-se uma dilatação unitária de 0,30 mm/m para a parede de 2,40 m de comprimento, e aquecimento na região central em torno de 1,20 m (0,08m + 0,08m para o painel radiante com 1,20 m). Para a parede totalmente aquecida, nos 2,40 m, a dilatação linear foi de 0,51 mm/m. Isso significa que a continuidade do elemento, de certa forma, promoveu uma contenção lateral, haja vista que, se a movimentação observada pudesse ser

considerada apenas em relação à base de aquecimento, de 1,28 m, teríamos uma movimentação específica do CP1 próxima à do CP2.

Outro aspecto observado foi o deslocamento horizontal. No patamar de aquecimento, enquanto o corpo de prova com continuidade da parede, CP1, teve um deslocamento médio de 2,45 mm, o corpo de prova sem continuidade, CP2, teve um deslocamento de 1,97 mm. Por outro lado, na fase de resfriamento, o deslocamento voltado para a face interna foi menor na parede com continuidade em relação à parede sem continuidade. A amplitude total da variação, ou seja, a soma dos módulos dos deslocamentos foi de 2,85 mm para a parede com continuidade e de 2,67 mm para a parede sem continuidade. Tais números, de qualquer forma, são muito próximos e, somente com base nesses dois ensaios, não é possível afirmar que há uma diferença significativa.

A diferença que se mostrou significativa é relativa ao surgimento de fissuras laterais nas extremidades do corpo de prova, quando aquecido somente em uma área de 1,20 m de comprimento, procurando-se simular uma continuidade como uma contenção lateral. O CP2 não apresentou fissura em sua face.

Tabela 6. Deslocamentos medidos nos ensaios.

Corpo de prova	Flecha para face externa (mm)	Flecha para a face interna (mm)	Amplitude das fechas (mm)	Amplitude da variação dimensional (mm)	Comprimento do painel radiante (m)	Dilatação (mm/m) em relação à base de 2,40 m
CP1	-2,45	0,40	2,85	0,72	1,20	0,30
CP2	-1,97	0,70	2,67	1,23	2,40*	0,51

* dois painéis radiantes de 1,20 m cada um, colocados lado a lado.

6.5.2. Ensaios em Paredes Leves *(steel frame)*

Também foram realizados outros dois ensaios em corpos de prova de paredes leves, semelhantes ao sistema tipo *steel frame*, com perfis leves de aço galvanizado, como estrutura e chapas leves de fechamento. Os ensaios realizados com paredes do sistema leve visam comparar dois diferentes

tipos de contenção. No primeiro, a variação dimensional do corpo de prova (CP3) foi bloqueada pela inserção de elementos de contenção lateral não pertencentes ao sistema construtivo (perfis metálicos de rigidez muito maior que o CP). No segundo corpo de prova (CP4), foi mantida a contenção formada pela continuidade do próprio corpo de prova.

O CP3 era constituído por quadro estrutural de *steel frame* (perfis de 90 mm × 40 mm × 0,8 mm) revestido por placas de fibrocimento na face externa e chapas de gesso para *drywall* na face interna. A dimensão do corpo de prova era de 1,20 m de comprimento por 2,40 m de altura. O CP4 também era constituído por quadro estrutural de *steel frame* (perfis de 90 mm × 40 mm × 0,8 mm) revestido por placas de fibrocimento na face externa e chapas de gesso para *drywall* na face interna; todavia, sua dimensão era de 2,40 m de comprimento por 2,40 m de altura (Foto 11).

Foto 11. CP3 (1,20m × 2,40m) e CP4 (2,40m × 2,40m) com juntas típicas entre placas.

A base dos corpos de prova foi vinculada a uma viga de aço preenchida com concreto, com chumbadores, e seu topo foi fixado a cada montando, de forma a simular as condições previstas em projeto e as condições de uso (Foto12).

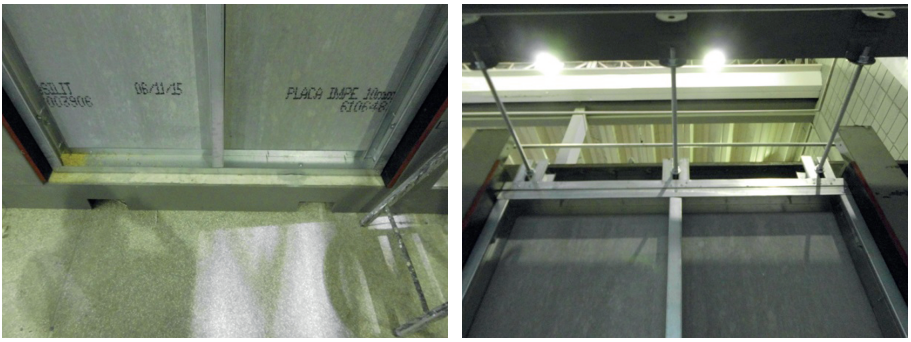


Foto 12. fixação da base e borda superior do CP-03.

No caso do CP3, foi adotado um sistema físico de vinculação lateral, com duas colunas de aço, de forma a permitir movimentações parciais do corpo de prova, particularmente na direção perpendicular ao seu plano (Foto 13).

Foto 13. Vista da face interna do CP-03 com a placa de *drywall* e as colunas de contenção lateral.

No caso do CP3, a área de exposição à fonte radiante foi de 1,20 m × 2,40 m, ou seja, toda a face do corpo de prova. A distância do painel radiante à face do corpo de prova foi de 28 cm. A faixa de aspersão de água também abrangeu todo o comprimento do corpo de prova, de 1,20 m, tendo sido observada uma distância dos bicos aspersores à face do corpo de prova de 40 cm. No caso do CP4, de 2,40m de comprimento, a área de exposição à fonte radiante foi de 1,20 m de comprimento por 2,40 m de altura, com alinhamento do eixo da parede com o eixo do painel radiante, restando duas laterais com 60 cm de cada lado sem exposição direta. A distância do painel radiante à face do corpo de prova também foi de 28 cm, tendo sido observado um comprimento total da aspersão da ordem de 1,40 m. Os bicos aspersores também ficaram a uma distância, da face do corpo de prova, de 40 cm.

Observou-se que as medidas tomadas no CP3 resultaram em deslocamentos específicos horizontais, no plano da parede, até superiores àqueles constatados para o CP4, apesar de resultarem em deslocamentos absolutos menores. Para explicar esse fator, haveria a necessidade de realização de mais um ensaio, considerando sistema de travamento lateral e corpo de prova com 2,40 m, com painel radiante de 2,40 m.

Na Tabela 7, são apresentados os valores máximos absolutos observados para as flechas, ou seja, para os deslocamentos horizontais, no centro da parede.

Tabela 7. Variação da flecha no cento da parede.

Corpo de Prova	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Amplitude (mm)
CP-3	-1,01	1,51	2,53
CP-4	-0,97	2,29	3,34

Comparando-se a flecha obtida nos corpos de prova, verifica-se uma flecha maior no sistema com continuidade da parede – com amplitude 32% maior em relação ao sistema com travamento lateral-, considerando-se os valores limites observados. Esse resultado pode por em questionamento a mobilidade pretendida com o sistema físico de travamento. Por outro lado, conforme pode ser verificado na Tabela 8, as flechas apresentadas nos limites do aquecimento são menos diferentes entre as duas situações. De qualquer

forma, ainda observa-se uma restrição à movimentação para o sistema de travamento físico.

Tabela 8. Flechas apresentadas no limite lateral na projeção da radiação.

Corpo de Prova	Lateral esquerda			Lateral direita		
	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Amplitude (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Amplitude (mm)
CP3	-0,37	0,55	0,92	-0,49	0,81	1,30
CP4	-0,18	1,06	1,29	-0,35	1,10	1,56

A forma de se executar a contenção lateral do corpo de prova é um fator que pode impactar os resultados dos ensaios e dificultar a sua reprodutibilidade, dado que os valores dos deslocamentos são da ordem de milímetros, ou até de décimos de milímetros em algumas situações. Logo, imprecisões na sua execução podem causar desvios que já atinjam essa ordem de grandeza. Os ensaios realizados permitiram concluir que o uso uma continuidade do SVVE como contenção lateral gera menores riscos de variabilidade decorrente de execução, pois se trata do mesmo sistema construtivo, sem introduzir nenhum elemento exógeno.

Observa-se que, obviamente, a realização de ensaios reproduzindo todas as condições de execução em obra, com suas dimensões e vínculos representados no corpo de prova, seria a condição ideal. Isso, contudo, é muito difícil de viabilizar no dia a dia das avaliações de desempenho, além do que poderia onerar demais o ensaio.

7. Proposta de Aprimoramento do Ensaio de Choque Térmico

7.1. Temperatura Superficial Limite

Com base nos resultados das simulações computacionais apresentadas no item 6.1, foram estabelecidos valores da temperatura de patamar (Tp) da face da parede no intuito de realizar o ensaio de choque térmico para três intervalos de valores da capacidade térmica externa das paredes, como indicado na Tabela 9.

Tabela 9. Temperaturas de patamar para o ensaio, em função da capacidade térmica externa e da cor da face externa do SVVE.

Capacidade térmica externa da parede kJ/(m².K)	Cor da face do SVVE exposta ao clima	
	Cor média = clara envelhecida (absortância de aproximadamente 0,5)	Cor escura= média envelhecida (absortância de aproximadamente 0,9)
Até 100	60ºC	80ºC
101 a 200	55ºC	70ºC
Acima de 200	50ºC	65ºC

Tais faixas foram definidas considerando-se todas as análises realizadas, observando-se os seguintes princípios: adoção de valores mais elevados de absortância à radiação solar, haja vista não haver controle sobre a cor das fachadas e sobre o grau de sujidade; adoção de margem de segurança em relação aos valores obtidos na simulação computacional, uma vez que se trata de ensaio acelerado e de poucos ciclos de ensaio, no caso dez ciclos.

A recomendação geral é que o ensaio seja feito considerando-se a temperatura de patamar na condição mais rigorosa, ou seja, para absortância à radiação solar de 0,9. Admite-se a condição de menor absortância, no caso 0,5, na qual a temperatura de patamar é reduzida, apenas nos casos em que haja recomendação explícita do emprego de cores claras, ou no caso do emprego de revestimentos exteriores naturalmente ou obrigatoriamente de cores claras.

7.2. Taxa de Elevação da Temperatura Superficial

Com base na ETAG 004 (EOTA, 2008) e nos ensaios realizados tanto especificamente para esse estudo como anteriormente, no dia a dia do Laboratório de Componentes e Sistemas Construtivos do IPT, propõe-se a adoção de um tempo mínimo de aquecimento de uma hora para atingir a temperatura de patamar, a fim de se evitar o surgimento de tensões térmicas irreais. A exequibilidade física desse requisito é de baixa complexidade, bastando controlar a radiação fornecida.

7.3. Controle dos Parâmetros do Fluxo de Água de Resfriamento

A proposta de aprimoramento do método contempla a adoção vazão de água de aspersão 3 L/(m².min), que, se é bem maior que o das normas internacionais, é o mesmo adotado no ensaio de estanqueidade à água de fachadas, contida no critério de estanqueidade à água de chuva, em SVVE, da NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

Definiu-se também a temperatura da água em 15°C ± 2°C. Chegou-se a esse valor de temperatura pela análise das temperaturas de ponto de orvalho nas cidades brasileiras consideradas mais críticas. A temperatura das gotas de chuva tende a esses valores conforme elas deslocam em direção ao solo.

Além disso, fixou-se o tempo de aspersão em uma hora, de forma a padronizar o período de resfriamento. A análise de resultados históricos do IPT indicou que, independentemente da massa da parede, esse é o tempo para que sua face externa chegue à temperatura ambiente. Aqui, considerando-se aspectos ambientais, no que se refere à redução do consumo de água, sugere-se a implantação de um sistema de reaproveitamento da água utilizada no ensaio.

7.4. Tolerâncias entre Valores de Temperaturas da Face da Parede (Diferenças entre Centro e Bordas)

A proposta consiste em continuar a se utilizar apenas a temperatura do ponto central do corpo de prova como referência para controle do ensaio. A tolerância para esse ponto central deve ser mantida no mesmo valor da norma atual, ou seja, ± 3°C, que é compatível com a normalização internacional e exequível operacionalmente.

Para as temperaturas dos pontos da borda, considera-se a definição de uma tolerância relativa à temperatura do ponto central como a mais coerente com a variação proporcionada por um painel radiante de dimensões semelhantes ao corpo de prova, mas com um valor de tolerância menor do que a definida pela ISO 8336 (ISO, 2009), porém, maior do que a especificada hoje na NBR 15575 (ABNT, 2013), definida com base no que foi observado seja do projeto de pesquisa, seja em outros trabalhos prestados pelo IPT. Deste modo, propõe-se que para os quatro pontos de borda seja tolerada uma variação de ± 6°C.

7.5. Dimensões e Contenção Lateral dos Corpos de Provas

Os resultados obtidos até o momento demonstram que a "contenção lateral" proporcionada por uma continuidade não aquecida da parede pode ser uma alternativa viável para a imposição de restrições à movimentação lateral. As diferenças observadas nos ensaios realizados considerando as duas opções de vinculação foram pouco significativas com relação aos deslocamentos horizontais apresentados pelos corpos de prova, apesar dos maiores deslocamentos em corpos de prova com dimensão maior. Isso é um dado relevante, visto que existia o receio de que as laterais pudessem estar oferecendo resistência ao deslocamento horizontal.

Também é importante ressaltar a possibilidade da introdução de vinculações no corpo de prova, simulando as condições de uso, tanto na base como no topo. Tais vinculações já criam condições no corpo de prova, que permitem contenções internas, de forma semelhante às empregadas em obra. Seria uma dificuldade muito grande garantir que laboratórios diversos pudessem desenvolver sistemas físicos de travamento lateral, que pudessem ter desempenho equivalente, a menos que se reproduzissem as condições de uso, nas dimensões reais.

Todavia, há que se avaliar a questão das fissuras ocorridas em um dos corpos de prova, quando é aquecido apenas um trecho da parede. Como essas fissuras ocorrem na zona de "continuidade", deve-se discutir se é possível ou não ser considerada para efeito da avaliação técnica.

Resumindo-se, são feitas as seguintes sugestões:

- Adoção de corpo de prova de pelo menos 2,40 m de comprimento, considerando-se um painel radiante de 1,20 m de comprimento. Como recomendação geral, o corpo de prova deve ter comprimento equivalente ao dobro do comprimento do painel radiante, de forma a resultar ¼ de continuidade para cada lado do corpo de prova. A critério da Instituição Avaliadora, em razão de características específicas do sistema construtivo a ser avaliado, poderia ser adotado, por exemplo, um corpo de prova de 4,80m de comprimento, com painel radiante de 2,40 m (ou dois de 1,20 m lado a lado);
- Adoção ou simulação de detalhes típicos do sistema construtivo na base e no topo do corpo de prova;
- Adoção dos detalhes típicos existentes nas paredes de fachada, como revestimentos, juntas, interfaces com revestimentos internos, etc. É fundamental a execução de juntas, quando presentes no sistema construtivo.

Neste particular, um corpo de prova com 2,40 m de comprimento é mais representativo do sistema construtivo que a situação atual de 1,20 m; até mesmo, se necessário, corpos de prova com dimensões maiores;

- Adoção de corpo de prova com altura equivalente ao pé direito, nas situações comuns de uso do sistema construtivo: A altura do painel radiante deverá ser compatível com a altura do corpo de prova.

7.6. Consolidação dos Aprimoramentos Propostos

Os aprimoramentos aqui apresentados podem oferecer uma contribuição significativa para uma melhor padronização do ensaio, proporcionando uma maior reprodutibilidade e repetitividade. Com o estabelecimento de especificações e limites para um maior número de parâmetros, pretende-se reduzir eventuais variações nos procedimentos de realização do ensaio entre laboratórios ou instituições diferentes.

Nesse contexto e com base nos resultados e análises apresentados, propõe-se a adoção dos parâmetros apresentados na Tabela 10 para efeito do aprimoramento do método de ensaio de ACCT, em relação ao atual previsto na NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

Tabela 10. Temperaturas de referência para o ensaio.

Item	NBR 15575-4 (ABNT, 2013)	Proposta
Temperatura a ser usada como referência para controle do ensaio	Não definido	Ponto central
Temperatura superficiais limites – Temperatura de patamar a ser obtida no centro do corpo de prova.	(80 ± 3)°C	(80 ± 3)°C, p/ CTe ≤ 100 kJ/(m^2.K) (70 ± 3)°C, p/ 100 < CTe ≤ 200 kJ/(m^2.K) (65 ± 3)°C, p/ CTe > 200 kJ/(m^2.K) NOTA: No caso de restrições para cores claras da fachada, os limites de temperatura são, respectivamente, de 60°C, 55°C e 50°C, com tolerância de ± 3°C.
Taxa de elevação da temperatura superficial	Sem especificação	Tempo mínimo de 1 hora
Tempo de permanência na temperatura limite (máxima)	1h	1h

* Mais pontos de medição de temperatura podem ser utilizados para alguma condição de pesquisa, como 1 posicionado no centro da na face interna (oposta ao aquecimento) do SVVE.

Tabela 10. Continuação.

Item	NBR 15575-4 (ABNT, 2013)	Proposta
N° de pontos de registro temperatura	5	5*
Localização dos pontos de registro das temperaturas na face do aquecimento.	1 central; e 4 periféricos	1 central; e 4 periféricos*
Tolerância para a temperatura dos pontos de boras	± 3ºC	± 6ºC
Temperatura da água de aspersão	Sem especificação	15ºC ± 3ºC
Vazão da água de aspersão	Sem especificação	3 L/(m². min)
Tempo de aspersão de água	Definido pela temperatura da face	1 hora
Comprimento do corpo de prova	1,20 m	2,40 m (dobro do comprimento do painel radiante)
Contenção lateral para sistemas leves	Sem especificação	Dada pela continuidade do corpo de prova
Número de ciclos	10	10
Intervalo entre um ciclo e outro	Sem especificação	24 horas entre o início de um ciclo e início do ciclo seguinte, no mínimo.

* Mais pontos de medição de temperatura podem ser utilizados para alguma condição de pesquisa, como 1 posicionado no centro da na face interna (oposta ao aquecimento) do SVVE.

A vinculação da temperatura superficial limite, da superfície exposta da parede, à sua capacidade térmica implica em uma adequação do método de ensaio às diversas tecnologias presentes no mercado, considerando a simulação das condições de exposição por meio de ensaios. Não seria possível deixar isso em aberto, ou seja, para que cada laboratório definisse uma temperatura de ensaio em função da capacidade térmica da parede, considerando uma curva contínua, pois poderia haver ainda diferenças significativas entre laboratórios. Por essa razão, está sendo proposta a consideração de três faixas distintas, em vez de uma condição única. Ressalta-se que para a Capacidade Térmica Externa, no caso do emprego de núcleos isolantes térmicos na parede, considerou-se o cálculo do lado externo da parede, desprezando-se produtos ou materiais internos, após esse núcleo. Para que uma camada de material seja considerada isolante térmico, propõe-se

adotar o mesmo critério já de consenso, de condutividade térmica menor ou igual a 0,065 W/(m.K) e Resistência Térmica maior ou igual a 0,5 m^2.K/W.

A padronização da temperatura da água, por sua vez, reduz as diferenças entre ensaios realizados em diversas épocas do ano ou por laboratórios localizados em cidades distintas, com climas distintos. No que se refere à vazão de água, considerou-se aquela já especificada no caso dos ensaios de estanqueidade à água de paredes externas.

A adoção de um gradiente para aquecimento, aqui denominado rampa de aquecimento, evita a ocorrência de mudanças ou elevações bruscas de temperatura na fase de aquecimento. O choque térmico é o fator preponderante de mudança brusca de temperatura, admitindo ainda que a proposta que está sendo feita é a de considerar a temperatura da água constante em 15°C, a qual é mais baixa que a atualmente adotada no método em vigor, como temperatura ambiente, que pode variar de laboratório para laboratório e entre regiões do país.

A definição do ponto central de medida de temperatura como referência para o ensaio facilita a determinação do tempo de início de cada fase. As tolerâncias propostas para as variações de temperatura, quer do mesmo ponto, quer entre ponto central e pontos de borda, abrangem vários sistemas construtivos, desde que o ensaio seja realizado em um ambiente coberto e fechado, abrigado de correntes de ar.

A adoção de corpo de prova com maior comprimento visa simular uma continuidade da parede, que poderia proporcionar restrições às movimentações da parede, por efeito de temperatura e umidade.

O próximo passo é incorporar tais parâmetros ao método de ensaio, ou seja, propor um método de ensaio aprimorado pela rede de pesquisas, de forma que possa ser discutido pela sociedade e, eventualmente, incorporado à NBR 15575-4, em uma próxima revisão. Trata-se de uma importante contribuição desta rede de pesquisa à sociedade brasileira, na avaliação de aspectos de durabilidade de sistemas construtivos para a construção de habitações.

Finalmente, ressalta-se que os resultados decorrentes do método de ensaio são relevantes para identificar a possibilidade de ocorrência de problemas em fachadas, visto que, nas situações nas quais se detectam problemas no ensaio, geralmente ocorrem falhas nas edificações. Entretanto,

mesmo quando não há problemas no ensaio, seus resultados podem não ser suficientes para garantir que a fachada tenha desempenho adequado, havendo necessidade de análises complementares, especialmente quando as condições da obra são bem diferentes das empregadas nos ensaios.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15220:** Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575-4:** Desempenho parte 4: Requisitos para sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM C 1185:** Standard Test Methods for Sampling and Testing Non-Asbestos Fiber-Cement Flat Sheet, Roofing and Siding Shingles, and Clapboards. Pennsylvania, EUA, 2008.

AUSTRALIAN/NEW ZEALAND STANDARD. **AZ NZS 2908-2:** Cellulose-cement products Part 2: Flat sheets. AUSTRALIA, 2000

EUROPEAN ORGANIZATION FOR TECHINCAL APPROVALS – EOTA. **ETAG 004:** Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite System with Rendering. Bruxelas, 2008.

KREITH, F.; BOHN, R.M.M. **Princípios de Transferência de Calor.** Pioneira Thomson Learning, 2003.

FONTENELLE, J.H.; MITIDIERI FILHO, C.V. Condições de contorno dos corpos de prova submetidos ao ensaio de ação de calor e choque térmico. **Anais...** ENTAC, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **ISO 8336.** Fiber-cement flat sheets. Product specification and test metholds. Suíça, 2009.

LORENZI, L.S. **Análise crítica e proposições de avanço nas metodologias de ensaios experimentais de desempenho à luz da ABNT NBR 15575 (2013) para edificações habitacionais de interesse social térreas.** Dissertação (MEstrado) – UFRGS, 245p. Porto Alegre. 2015. Disponível em: http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/96630?locale=pt_BR

OLIVEIRA, L.A.; FONTENELLE, J.H.; MITIDIERI FILHO, C.V. **Durabilidade de fachadas:** método de ensaio para verificação da resistência à ação de calor e choque térmico, in Revista Ambiente Construído. Porto Alegre. ANTAC, 2014. Disponível em: http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/45672

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-5953-029-2.2017C0007.p.169-194

Sistemas Construtivos Inovadores no Contexto do SiNAT: Normativas, Produção e Aplicações de Painéis de Vedação

7

Mena Cristina Marcolino Mendes
Márcio Minto Fabricio
César Imai

1. Introdução

Este capítulo apresenta os produtos e processos avaliados pelo Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Sistemas Inovadores e Convencionais (SiNAT), que no contexto nacional suprem as lacunas de normalização técnica. O SiNAT oferece suporte à operacionalização dos processos construtivos empregados na construção civil brasileira que não possuem normas técnicas, estimulando o desenvolvimento tecnológico e reduzindo os riscos envolvidos na inovação (BRASIL, 2017).

No contexto do SiNAT, tecnologia inovadora é aquela que não dispõe de uma norma técnica nacional em vigor. Assim, além de sistemas e produtos originais, sistemas utilizados internacionalmente, ou mesmo nacionalmente, sem suporte normativo, são classificados como inovadores.

Idealmente, as novas tecnologias empregadas na produção de habitação visam reduzir custos, aumentar a produtividade e controlar a qualidade do processo e do produto, caracterizando sistemas construtivos com maior grau de industrialização. A maior quantidade de sistemas construtivos pré-fabricados homologados no SiNAT pode representar uma maior variedade de opções que viabilizam diferentes práticas construtivas no país.

No Brasil, as inovações ainda são consideradas incipientes, focadas principalmente na obtenção do lucro, em detrimento da qualidade. A falta de normas e a necessidade de comprovação da adequabilidade dificulta o processo de aprovação e obtenção de recursos (FERREIRA et al., 2012). Para Slaughter (2010), os benefícios trazidos pelas inovações devem ser mais amplos, contemplando o desempenho e a viabilidade técnica de soluções mais produtivas.

> *A especificidade da construção civil e a necessidade de cumprimento de regras e normas exigem certos procedimentos para a implementação de inovações, o que favorece a adoção de inovações incrementais, além de ciclos de implementação e difusão de inovações, geralmente longos. A dependência de fornecedores, a diversidade dos agentes envolvidos e o afastamento relativo das universidades e centros de pesquisas tornam ainda mais complexa a gestão, implementação e difusão de inovações, principalmente radicais* (FLORIANE; BEUREN; HEIN, 2010, p. 698).

As premissas do SiNAT buscam a redução dos riscos inerentes às inovações e a garantia de desempenho e de vida útil dos produtos. Além disso, recentemente, passou-se a considerar os requisitos presentes na NBR 15575 (ABNT, 2013). Neste contexto, o SiNAT ganha importância nacional e avalia previamente os produtos antes da sua entrada no mercado por meio de ensaios laboratoriais, garantindo assim o desempenho mínimo e a segurança dos usuários. A NBR 15575 (ABNT, 2013) é uma das principais referências empregadas e fornece parâmetros para as avaliações que podem ser realizadas pelas Instituições Técnicas Avaliadoras (ITA's), a fim de analisar desde a segurança estrutural até a operação, o uso e a manutenção de edificações, entre outros requisitos de desempenho.

Define-se desempenho como o comportamento em uso do produto que deve cumprir sua função durante a vida útil de projeto, quando exposto às ações ou influências do meio (GONÇALVES et al., 2003).

Este capítulo sistematiza as Diretrizes de Avaliação Técnica publicadas pelo SiNAT e os respectivos Documentos de Avaliação Técnica (DATec) homologados para diferentes processos ou produtos empregados em habitações, tais como as paredes e painéis de vedação de concreto armado moldadas in loco, os painéis pré-fabricados de concreto e mistos, os sistemas

leves de perfis de madeira maciça ou aço dobrados a frio e os painéis de concreto com fôrmas incorporadas (PVC).

Os produtos homologados pelo SiNAT têm sido aplicados na execução de paredes e painéis de vedação em escala significativa e derivada de processo industrializado, sobretudo em empreendimentos de interesse social financiados pelo Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) do Governo Federal, a partir do ano de 2010, quando o primeiro DATec foi homologado.

Para Sabattini (1989 *apud* ABDI, 2015), o processo industrializado depende de ações organizacionais, inovações tecnológicas, planejamento e controle, tendo como finalidade o incremento da produtividade, do nível de produção e o aprimoramento do desempenho da construção.

> *A industrialização representa o mais elevado estágio de racionalização dos processos construtivos e, independente da origem de seu material, está associada à produção dos componentes em ambiente industrial e, posteriormente, montados em canteiro de obras, assemelhando-se às montadoras de veículos, possibilitando melhores condições de controle e adoção de novas tecnologias* (ABDI, 2015, p. 33).

Os sistemas industrializados ou pré-fabricados podem ser de dois tipos: o primeiro são denominados de sistemas leves para vedações (peso não superior a 60 kgf/m^2) com aplicações em compartimentações internas, tendo surgido no Brasil a partir de 1970, em decorrência da tecnologia *drywall*; o segundo tipo são os sistemas destinados às estruturas e aos fechamentos com função estrutural ou de vedação, em sua maioria, de concreto armado e de concreto protendido, com função estrutural e/ou vedação, surgidos no Brasil a partir da instalação da indústria de cimento e da criação de normas de concreto (ABDI, 2015, p. 26).

O presente capítulo apresenta duas partes. A primeira trata da caracterização dos painéis e paredes de vedação empregados em habitações térreas ou assobradadas, isoladas ou geminadas e, em casos específicos, os que possuem homologação para edifícios multifamiliares. Nessa parte, conceitua-se o tipo de sistema não convencional de acordo com a sua função estrutural, os seus materiais, componentes e sua interface com os sistemas convencionais que são objeto da avaliação técnica do SiNAT. São apresentadas as indicações e restrições de uso conforme as Diretrizes de cada tipologia, as sugestões para

consulta a outros documentos e as premissas de projeto necessárias para o correto emprego do sistema.

Busca-se neste estudo caracterizar os sistemas construtivos inovadores homologados pelo SiNAT, de forma a contextualizar os capítulos seguintes que discutem incrementos nos métodos de avaliação para o sistema SiNAT.

A caracterização dos sistemas construtivos tomará como base as Diretrizes do SiNAT (BRASIL, 2017) e as normas brasileiras (NBR 16055 (ABNT, 2012) e a NBR 16475 (ABNT, 2017) em dois casos existentes.

Na segunda parte deste capítulo, são apresentadas três aplicações de tecnologias, em forma de estudos de caso, desenvolvidos por meio de visitas técnicas às fábricas de produção de componentes e da verificação do nível de industrialização destas unidades, além de visitas à empreendimentos construídos com a tecnologia e da análise de documentos e projetos dos sistemas.

O primeiro caso descreve os sistemas pré-fabricados mistos, o segundo caso apresenta paredes estruturais formadas por painéis de PVC e concreto e o último apresenta painéis estruturais de vedação em peças leves de madeira maciça e fechamento em chapa. As tecnologias apresentadas são a parede pré-fabricada mista com nervura de concreto e preenchimento de blocos cerâmicos, a parede maciça em concreto com formas incorporadas de PVC e os perfis leves (madeira).

Apresentam-se, nos três casos, as empresas ou unidade de produção, uma obra em execução e um empreendimento habitacional em uso:

- as visitas às empresas foram realizadas para caracterização do processo de produção e do nível de industrialização empregado fora do canteiro;
- as visitas às obras em execução, para caracterização dos procedimentos e detalhes construtivos e do nível de racionalização empregado em canteiro;
- as vistorias aos empreendimento habitacionais foram realizadas para a avaliação de desempenho em uso. A fase de uso proporciona oportunidades de verificar os benefícios esperados pelas inovações e, por meio das avaliações, pode proporcionar possíveis mudanças na própria inovação (SLAUGHTER, 2010).

2. Diretrizes de Avaliação Técnica dos Sistemas Construtivos para Paredes e Painéis de Vedação

Um sistema construtivo inovador (não convencional), para ser homologado pelo SiNAT, deve passar pelas seguintes etapas: pertencer

a um dos tipos de Diretrizes de Avaliação Técnica do SiNAT, ser avaliado por uma Instituição Técnica Avaliadora – ITA, e atender aos requisitos de desempenho nas avaliações e ensaios prescritos. Após cumprir as principais etapas de avaliação, será emitido o DATec para o sistema, contendo o prazo de validade, as descrições dos componentes, dos procedimentos do processo de fabricação/execução/montagem e das condições de uso, todos avaliados para garantir o desempenho da edificação. O processo de tramitação da homologação está descrito em detalhes no capítulo 2 do volume um da coletânea *Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: manutenção e percepção dos usuários*, disponível no link: http://dx.doi.org/10.4322/978-85-89478-42-7-02.

Atualmente há no Brasil doze Diretrizes de Avaliação Técnica e vinte DATec's disponíveis para consulta no link: http://app.cidades.gov.br/catalogo/src/paginas/catalogoInovador.php. A Diretriz com o maior número de DATec's é a que trata de painéis pré-moldados de concreto ou misto, treze, seguida por aquelas que se referem aos sistemas de paredes de concreto moldadas *in loco,* oito, os sistemas em perfis leves de aço quatro e os perfis leves em madeira, um.

2.1. Sistemas de Vedação de Painéis Maciço de Concreto (Moldados *in loco*)

Os sistemas construtivos para paredes de concreto moldadas no local tiveram uma Diretriz de Avaliação e duas revisões **(Diretriz n. 001 rev. 02)** no ano de 2011 e atualmente possuem oito DATec's, todas vencidas (BRASIL, 2017). Esses sistemas se diferenciam pelo tipo de fôrma e de concreto empregados. A principal característica de tal sistema é o emprego em paredes ou lajes de concreto armado, cuja técnica é a moldagem no local com fôrmas removíveis. Essa tecnologia tem sido aplicada em casas térreas, sobrados unifamiliares e edifícios multifamiliares. De acordo com essa Diretriz, a moldagem das paredes deve prever os vãos de portas, janelas e tubulações ou eletrodutos de pequeno porte, quando consideradas no projeto. Em relação ao sistema de dutos elétricos, a Diretriz recomenda que, para a decisão de embutir as instalações, deve-se considerar as exigências de manutenção. O documento possui, entretanto, algumas lacunas quanto às restrições de uso e exclui das avaliações os sistemas convencionais (exceto suas interfaces com a fundação, instalações elétricas, hidráulicas e cobertura),

os sistemas de paredes pré-fabricados, as construções em concreto armado com formas incorporadas, paredes curvas, muros de arrimo e reservatórios, deixando a cargo das empresas proponentes as formulações das restrições de uso e do desempenho térmico das coberturas. Por outro lado, tal Diretriz contempla os requisitos de desempenho que as paredes e painéis devem atender de acordo com a norma de desempenho brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013).

Atualmente, a Diretriz n. 001, para avaliação de paredes moldadas in loco, encontra-se em revisão e a tecnologia possui, desde o ano de 2012, uma norma brasileira, a NBR 16055 – Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e Procedimentos. Essa norma apresenta os requisitos de qualidade da estrutura, de qualidade do projeto, os requisitos para a execução de paredes, as premissas básicas para o dimensionamento das paredes de concreto, os princípios gerais de dimensionamento e os requisitos gerais para a execução (ABNT, 2012).

Entre as limitações de uso, a NBR 16055 (ABNT, 2012) apresenta a restrição da abertura de vãos nas paredes, porém não menciona sobre o desempenho das interfaces com outros subsistemas convencionais, como é requerido pela Diretriz n. 01 do SiNAT. A NBR 16055 (ABNT, 2012) supre lacunas sobre os aspectos de projeto e da execução, mas não trata dos requisitos de desempenho.

Os sistemas construtivos formados por paredes estruturais constituídas por painéis de PVC preenchidos com concreto **(Diretriz n. 004)**, datada do ano de 2010, possui apenas um DATec (atualmente vencido). Essa Diretriz define o sistema, como paredes internas e externas estruturais, em que as fôrmas de PVC (espessura mínima de 1,7 mm) são acopladas entre si por meio de encaixe nas laterais e ficam incorporadas à parede, tendo a função de revestimento e acabamento. As paredes possuem armaduras verticais e horizontais. As paredes são ancoradas na fundação. O concreto empregado é o autoadensável e não necessita de vibração. Os revestimentos aplicados sobre os perfis de PVC não possuem critérios para avaliação. A Diretriz não menciona as restrições no uso e, quando houver, devem ser especificadas no DATec. O referido sistema está destinado a unidades térreas, assobradadas, isoladas e geminadas unifamiliares. A espessura das paredes deve ser definida de acordo com o desempenho estrutural e as instalações projetadas. Para a aplicação em paredes os perfis de PVC devem ter as cores claras. As interfaces

dos subsistemas convencionais com os inovadores (paredes e pisos internos e externos, paredes e esquadrias e paredes e instalações) devem ser consideradas nas avaliações.

2.2. Sistemas de Vedação de Painéis Misto (Pré-Fabricados)

Os sistemas de painéis pré-moldados de concreto ou mistos para o emprego em edifícios habitacionais seguem a **Diretriz n. 002 Rev. 02**, datada do ano de 2012. Tais sistemas possuem o maior número de DATec's (treze), válidas atualmente. Também se diferenciam pelo tipo de material de enchimento, se maciços ou preenchidos com blocos cerâmicos. Essa Diretriz define o sistema como painéis estruturais e/ou não estruturais com seções maciças, alveolares ou misto (nervuras de concreto e materiais de preenchimento), em paredes estruturais ou somente vedação (sem função estrutural) de casas térreas, unidades isoladas ou geminadas e em edifícios habitacionais. A norma, no entanto, possui lacunas quanto às restrições de uso e menciona que os DATec's devem determinar as restrições de uso e demais questões, como a concepção estrutural, os materiais, os tipos de fôrmas, as instalações da pré-moldagem, o tipo de cura e os equipamentos empregados. Ademais, não trata das interfaces com os sistemas convencionais, que são remetidas aos detalhamentos dos projetos, aos procedimentos de execução, entre outros. Cabe a empresa proponente apresentar as soluções técnicas concernentes aos aspectos das interfaces quando homologados os DATec's. Salienta-se que o papel da mencionada Diretriz é oferecer as informações de desempenho das paredes e painéis de vedação, tipos de avaliações para cada situação e os ensaios.

Os sistemas de vedação de painéis pré-fabricados possuem uma norma brasileira, a NBR 16475: Painéis de parede de concreto pré-moldado – Requisitos e procedimentos que passou a vigorar no ano de 2017 (ABNT, 2017), que estabelece os requisitos e procedimentos de projeto, produção e montagem. Essa norma não se aplica a painel com dimensão maior que 12 m, painéis sem armaduras, painéis curvos, muros de arrimo, reservatórios e elementos de fundação (ABNT, 2017). A norma NBR 15575 (ABNT, 2013), por sua vez, é uma das referências normativas para atendimento dos requisitos de durabilidade e vida útil de projeto citadas pela NBR 16475 (ABNT, 2017). Os tipos de painéis contemplados pela norma se diferenciam

pela seção transversal, pela utilização (uso), pela função de acabamento e pela função estrutural. A NBR 16475 (ABNT, 2017) trata dos requisitos de qualidade da estrutura, qualidade do projeto estrutural, durabilidade, propriedades dos materiais, segurança estrutural e estado limite, instalações embutidas, dimensionamento dos painéis, métodos de produção, transporte, controle da execução e inspeção e documentação técnica (projeto estrutural, produção, montagem, uso e ocupação). Essa norma supre lacunas de normalização do projeto estrutural, da execução e da montagem. Para atendimento da durabilidade das paredes, a norma recomenda respeitar os requisitos de estanqueidade dos painéis, das juntas entre painéis, das juntas entre painéis e esquadrias (no controle da montagem), sendo a última uma questão de interface. As interfaces com outros subsistemas convencionais não são consideradas pela supracitada norma. A documentação técnica de uso e a operação requerida na norma compõem o conteúdo do manual do proprietário, que deve conter especificações técnicas da estrutura, materiais empregados, carregamentos admissíveis, prazos para manutenção da estrutura e das juntas, orientações para inspeção da estrutura e proibição de remoção total ou parcial das paredes. Por meio do manual do proprietário, são estabelecidas as condições e restrições de uso do referido sistema construtivo.

2.3. Sistemas de Vedação e Painéis Estruturados em Perfis Leves em Aço ou Madeira (Montagem a Seco)

Os sistemas construtivos em painéis estruturados em perfis leves de aço zincado conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas) seguem a **Diretriz n. N. 003 Rev. 02,** datada do ano de 2012, e possuem o total de 04 DATec's, sendo apenas uma referente às vedações verticais (em validade), denominada *Light Steel Frame*. Os demais DATec's dessa Diretriz são de componentes para o sistema de revestimento como o *siding* vinílico ou as chapas de OSB revestidas com placas cimentícias. Tal documento estabelece como objeto de avaliação técnica a estrutura, as paredes (externa e interna), os entrepisos, a cobertura, as escadas e os guarda-corpos, formadas pelos componentes: quadros estruturais, componentes de fechamento e de contraventamento, isolantes térmicos, materiais absorventes acústicos, barreiras impermeáveis, produtos para impermeabilização, sistemas de fixação (parafusos e chumbadores), juntas entre as chapas de vedação, revestimento ou acabamento e as subcoberturas. A avaliação técnica para o sistema em questão pode considerar até três subsistemas (parede, entrepiso e cobertura) ou apenas

dois ou mesmo um, dependendo do DATec. Esse sistema não é recomendado para áreas de agressividade ambiental elevada (marinha e industrial). Outras restrições de uso não são apresentadas nessa Diretriz, e portanto devem ser especificadas no DATec pela empresa proponente. A empresa proponente é responsável pelas soluções técnicas e detalhamentos específicos, visando evitar o contato dos perfis metálicos e dos fechamentos com a umidade.

Os sistemas construtivos em peças leves de madeira maciça serrada e com fechamentos em chapa, denominado Sistema leve *Light Wood Framing,* seguem a **Diretriz N. 005 Rev. 02,** datada do ano de 2011**,** possuem apenas um DATec válido, denominado sistema de vedação vertical leve em madeira. A referida Diretriz se aplica à construção de unidades habitacionais familiares térreas, sobrados, isolados ou geminados, e também edifícios multifamiliares de até 04 pavimentos (térreo + 3 pavimentos). Refere-se às paredes estruturais ou paredes de vedação (externas e internas), lajes de piso (entrepisos) e sistema de cobertura (lajes e cobertura), exceto o telhamento que é considerado um sistema convencional. As paredes são compostas por quadro estrutural, componente de fechamento interno, componente de fechamento externo, componente de contraventamento, isolante térmico, barreira impermeável a água e ao vapor, barreira impermeável à água e permeável ao vapor, produto impermeável, elemento de fixação, juntas, revestimento e acabamento. Os pisos são constituídos por peças de madeira estrutural, componente da face superior do entrepiso com função estrutural, elementos de fixação, forro, isolante térmico, contrapiso (argamassa), revestimento ou acabamento**.** O sistema de cobertura é formado por peças leves de madeira serrada da estrutura do telhado, elemento de fixação e forro (não inclui telhamento). Essa Diretriz não se aplica isoladamente aos subsistemas convencionais (fundações, esquadrias, telhamento, instalações hidráulicas, elétricas e outros), mas requer a previsão das interfaces com os subsistemas convencionais (fundação, esquadria, instalações hidráulicas e elétricas) com paredes, entre paredes ou entre piso e paredes e as instalações devem ser objetos de avaliação técnica. Outras restrições de uso são remetidas ao DATec da empresa proponente. As peças de madeira estruturais e as chapas de compensados devem passar por tratamentos químicos específicos autorizados e certificados. A citada Diretriz também remete aos projetos a necessidade de detalhes específicos, visando impedir o contato das peças de madeira com a umidade da água da chuva, de percolação do solo, uso e lavagem de ambientes e condensação de vapor de água nos ambientes. Os detalhes de

projetos que devem ser previstos e enumerados pelo documento são: adoção de telhado com beiral em todo o perímetro (projeção mínima de 60 cm), sendo necessária, para edifícios multifamiliares, a adoção de cobertura com beirais e calhas com condutores verticais; a utilização de pingadeiras nos peitoris das janelas; a execução de calçadas de no mínimo 1,0 m a mais que a projeção da cobertura (prever inclinação mínima de 1%); a adoção de cota inferior a calçadas de 150 mm em relação às cotas das paredes de fachada; o emprego de piso acabado do box com cota inferior a 15 mm em relação à cota do banheiro; o uso de manta ou membrana de impermeabilização com altura mínima de 200 mm de cada lado do quadro estrutural; a adoção de barreiras impermeáveis à água e ao vapor na face interna dos banheiros com chuveiro; a utilização de sistema de ventilação eficiente; a adoção de barreiras impermeáveis à água e permeável ao vapor, posicionadas na face externa de fachada; o uso de mantas de impermeabilização em ralos e em paredes das instalações, como lavatório acima de 200 mm do equipamento (a partir do piso); a aplicação de chapas de gesso em áreas molhadas e molháveis resistentes à umidade com uso de sistemas de impermeabilização. Para o caso de edifícios multifamiliares, essa Diretriz estabelece restrições específicas.

Para o caso dos sistemas de perfis leves (madeira e aço), ainda não há normas brasileira específica para projeto, execução e montagem, sendo, portanto, sistemas considerados não convencionais.

2.4. Diretrizes de Avaliação Técnica para Sistemas sem Função Estrutural

Há quatro Diretrizes para sistemas sem função estrutural, que são: alvenaria não estrutural em bloco de gesso (Diretriz n. 08 Rev. 01); vedação externa sem função estrutural; multicamadas, formado por perfis de aço zincado e fechamento em chapas delgadas com revestimento de argamassa (fachada leve em *Steel Frame* sem função estrutural) (Diretriz n. 09 Rev. 01). Existe apenas um DATec para as vedações internas não-estruturais de bloco de gesso (vencido).

Alguns componentes não convencionais possuem Diretriz de Avaliação com apenas um DATec, como é o caso da argamassa decorativa e das telhas de PVC.

O levantamento das Diretrizes de avaliação técnica e seus DATEc's mostrou um número significativo de documentos atualmente vencidos, cuja

validade foi de aproximadamente dois anos. Esses sistemas foram avaliados e tiveram suas aplicações principalmente em empreendimentos habitacionais.

3. Produção e Aplicação dos Sistemas Construtivos não Convencionais

Neste item, apresenta-se a aplicação das três tipologias de sistemas em três fases diferentes: a unidade de pré-fabricação ou indústria, uma obra em execução e um conjunto habitacional na fase de uso.

3.1. Parede Integrada por Painéis Pré-Moldado Misto (Diretriz N. 002 – Revisão 02 / DATec 08A)

Os painéis pré-moldados misto de concreto e blocos cerâmicos permitem a construção horizontal de paredes portantes com estrutura de concreto e fechamento de blocos e posterior montagem vertical em canteiro. Depois de pronto, o sistema se assemelha ao método tradicional de construção residencial brasileira. Esse sistema também guarda semelhança com as propostas do Arquiteto Joan Villà para Residência estudantil da Unicamp, desenvolvidas pelo laboratório de Habitação da Unicamp, Campinas, no período 1986 até 1999 (MONTANER; MUXÍ, 2013), embora apresente projetos e estrutura produtiva bastantes diversos.

A unidade de fabricação dos painéis pré-moldados mistos foi instalada em um município do interior do Estado de São Paulo, para atender a construção de um empreendimento habitacional do PMCMV. A visita à fábrica foi realizada no mês de janeiro do ano de 2016 e apresenta os seguintes setores: produção dos painéis com montagem dos gabaritos metálicos para os painéis de paredes e lajes; setor de montagem das armaduras; setor de concretagem; setor de acabamento; setor de cura dos painéis e armazenamento/expedição. A pista para produção e armação dos gabaritos possui piso de concreto nivelado (Figura 1b). Os gabaritos metálicos para os painéis de vedação com ou sem vãos são produzidos conforme o projeto. Na etapa posterior à montagem dos gabaritos, são inseridos os blocos cerâmicos, elementos de vedação, sendo posicionados conforme a modulação demarcada nos gabaritos. Após essa etapa, as armaduras das nervuras são posicionadas e concretadas e as juntas dos blocos preenchidas. Também há gabarito metálico para execução da laje maciça de concreto pré-moldada e o posicionamento

das armaduras com os espaçadores e a previsão de passagem para as instalações elétricas embutidas na laje. O concreto é fabricado no próprio local e as baias para armazenamento dos insumos estão em área coberta. A unidade de pré-fabricação dos painéis não possui cobertura, e a produção dos painéis, bem como as armaduras, estão expostas às intempéries. Os painéis são transportados até a obra de destino com o acabamento das faces/revestimento argamassado (reboco) finalizado, com as instalações elétricas e hidrossanitárias embutidas e também com as esquadrias. A unidade de pré-fabricação permite a produção de vários tipos de painéis, como paredes e lajes.

Figura 1. Unidade de fabricação de painéis pré-moldados mistos: (a) central de dosagem de concreto; (b) vista geral da pista de pré-fabricação; (c) gabarito metálico para painel com vão; (d) painel acabado com esquadria. Fonte: Autores (2016).

Ao concentrar a produção dos painéis em uma central, é possível ampliar a escala e implementar uma estrutura fabril, viabilizando a utilização de equipamentos, como ponte rolantes, pista de pré-fabricação, fôrmas metálicas, central de dosagem de concreto, etc. Com isso, busca-se ampliar a produtividade e especializar o trabalho necessário para produção dos painéis, além de ampliar o controle tecnológico sobre o processo produtivo.

Os painéis industrializados são de pequeno porte e podem facilmente ser transportados para obra por um caminhão com guincho, que pode auxiliar o posicionamento dos painéis, para serem solidarizados em obra, configurando a residência. Na fábrica, a ponte rolante é um equipamento de grande porte que auxilia a movimentação dos painéis ao longo da pista. Os painéis deste sistema são transportados e posicionados na obra com o auxílio de caminhão guindauto (tipo "munk").

A obra em execução, visitada no mês de janeiro do ano de 2016, foi financiada pela Caixa Econômica Federal para o PMCMV do Governo Federal (Figura 2) e localiza-se no interior do Estado de São Paulo. O prazo de execução previsto para a obra compreendeu o período de dezembro de 2014 a outubro de 2015. As unidades habitacionais são térreas isoladas (Figura 2b) e possuem 54,00 m^2 de área construída com sala/cozinha, dois quartos, banheiro social e lavanderia. As fases da obra que estavam sendo executadas durante a visita eram de acabamento e de execução da infraestrutura do conjunto habitacional (Figura 2a). O conjunto habitacional é cercado por muros. As divisas dos lotes possuem muros baixos e os frontais não pertencem ao projeto. O painel de vedação chega pronto à obra para a montagem do sistema. E verificou-se que o canteiro de obra é limpo e sem entulhos.

Figura 2. Conjunto habitacional em execução com painéis pré-moldados mistos. (a) Vista frontal das fachadas; (b) Tipologia da unidade padrão. Fonte: Autores (2016).

O conjunto habitacional na fase de uso, visitado no mês de junho do ano de 2015 e janeiro do ano de 2016, localiza-se no interior do Estado de São Paulo. Esse empreendimento possui 336 casas financiadas pelo PMCMV (Figura 3a). Conforme a Diretriz desse sistema, as questões das interfaces foram detalhadas no DATec e foram objeto de avaliação técnica. A tipologia da habitação é isolada térrea, com cobertura de telhas cerâmicas e beirais sem calha.

Figura 3. Conjunto habitacional em uso. (a) Vista do conjunto; (b) Vista da unidade habitacional. Fonte: Autores (2016).

O referido conjunto habitacional é objeto da aplicação dos instrumentos avaliativos do desempenho em uso para o caso da tecnologia, que são apresentados nos capítulos oito a dez deste livro.

3.2. Parede Estrutural Constituída de Painéis de PVC Preenchida com Concreto (Diretriz N. 004 – Revisão 02 / DATec 17)

O sistema constituído por painéis estruturais de PVC para vedações portantes tem origem no Canadá em um processo de industrialização da construção. O sistema caracteriza-se por ser modular, composto por painéis verticais que se encaixam e é adaptável a qualquer tipo de layout. A leveza dos perfis permite o transporte manual dentro da fábrica e do canteiro, dispensando equipamentos específicos para o transporte e a montagem do sistema. O maior capital investido é na fábrica em tecnologia dos equipamentos para a produção/extrusão do PVC e a manufatura dos perfis modulares. No canteiro, as técnicas são convencionais, desde a montagem manual das fôrmas até o lançamento do concreto autoadensável com bomba estacionária.

A visita à unidade de fabricação dos painéis de PVC foi realizada em junho de 2016. A fábrica está instalada em um galpão industrial no Estado de Santa Catarina. Os setores são delimitados em área de produção, montagem dos painéis, reaproveitamento de resíduos, montagem dos kits hidráulicos e expedição. No setor de reciclagem, são reaproveitados os recortes de PVC para a produção de peças sem função estrutural (diferenciadas pela cor do PVC). Os equipamentos que produzem os perfis de PVC são importados e há equipamentos próprios para os cortes dos furos dos perfis, para a passagem das instalações, armaduras e encaixes (Figura 4a). Os perfis produzidos são modulados em dimensões de 20 cm e, após montados, os painéis possuem dimensão de 80 cm (Figura 4b). Essa modulação está de acordo com o projeto da unidade a ser produzida. A indústria possui um laboratório para ensaios e verificação da resistência dos perfis produzidos (Figura 4c). Na fábrica, monta-se os kits hidráulicos e realiza-se o embutimento das instalações que são acopladas aos painéis na obra (Figura 4d). Os perfis de PVC ou os painéis montados chegam prontos na obra para a montagem e concretagem in loco.

Figura 4. Industrialização dos painéis de PVC. (a) Máquinas para produção e corte dos perfis de PVC; (b) Painéis montados e modulados de PVC; (c) Sala de ensaios; (d) Kit hidráulico embutido no perfil de PVC. Fonte: Autores (2016).

A indústria de perfis de PVC possui um rigoroso controle tecnológico referente à manufatura do produto, que é o principal componente da fábrica, e ainda todo o resíduo do processo é reaproveitado/reciclado e transformado em componentes sem função estrutural, o que garante menor impacto ambiental pela redução dos resíduos gerados.

Os equipamentos e as máquinas envolvidas na produção do PVC são de grande porte e fabricam os diferentes perfis com os detalhes conforme a modulação detalhada para os encaixes e formação do painel. Posteriormente, os furos das faces do perfil são realizados para o encaixe e a passagem das tubulações. Pelo porte dos equipamentos e a rapidez na confecção dos perfis, é possível que a empresa produza conforme a demanda e em série. Toda a produção do PVC e dos perfis são controlados por meio de amostras coletadas para os ensaios. Esse ensaio é realizado pela empresa e sua importância está em garantir a resistência das peças que formarão as vedações autoportantes. O processo produtivo requer pouca mão de obra em fábrica e no canteiro.

A Figura 5 mostra o protótipo da casa construída com o sistema de painéis em PVC e concreto, no local onde ocorreram os ensaios e as avaliações pelo Instituto Tecnológico responsável pela emissão do DATec. Uma das principais vantagens desse sistema é que a fôrma fica incorporada à parede, reduzindo os custos com fôrmas e resíduos, e em habitação dispensa os revestimentos argamassados, cerâmicos e pintura, reduzindo os custos com acabamento.

Figura 5 – Protótipo – Casa em concreto-PVC. Fonte: Autores (2016).

A obra foi visitada em junho de 2016 e estava na fase de execução dos painéis em PVC. A obra foi financiada pela Caixa Econômica Federal por intermédio do Programa Pró-Moradia/PAC (Programa Aceleração do Crescimento) do Governo Federal e da Companhia de Habitação Popular (COHAB) no Estado do Paraná (Figura 6). O prazo de execução dessa obra compreendeu o período de outubro de 2015 a julho de 2016. O projeto do empreendimento possui 66 unidades habitacionais assobradadas geminadas (Figura 6d). O programa da casa contempla sala/cozinha, banheiro, dois quartos e lavanderia externa. A obra encontrava-se em três fases distintas: execução da fundação/radier, montagem dos painéis do primeiro pavimento e montagem dos painéis do segundo pavimento. Nas fases de montagem e concretagem dos painéis do primeiro e segundo pavimento, observou-se a presença dos escoramentos e andaimes (Figura 6a,d). As lajes são pré-fabricadas, preenchidas com blocos cerâmicos e concretadas no local e apoiadas diretamente sobre as paredes portantes (Figura 6b). No interior dos perfis de PVC, observou-se a passagem das armaduras para a execução de vergas e contravergas dos vãos das janelas. Após a cura da laje piso, a terceira fase contempla a montagem do segundo pavimento com os painéis de PVC. Para a obra em questão, o concreto não foi preparado in loco. O canteiro de obras foi considerado limpo e livre de entulhos e resíduos de construção, embora a infraestrutura ainda estivesse em execução.

O conjunto habitacional em uso foi visitado em junho de 2016 e verificou-se in loco o sistema de paredes estruturais formadas por perfis de PVC com preenchimento em concreto. O conjunto habitacional localiza-se no Estado de Santa Catarina. As moradias desse conjunto atenderam aos desabrigados das enchentes no Estado no ano de 2008, a partir de uma parceria público e privada. Essa tecnologia foi aplicada em 24 casas. As moradias são casas térreas isoladas no lote e possuem sala/cozinha, banheiro, dois quartos e lavanderia externa com área total de 36,00 m^2. O sistema construtivo possui interfaces com os sistemas complementares, como a fundação, instalações embutidas, esquadrias e cobertura (Figura 6a). A cobertura em telhas cerâmicas possui beiral sem calha. Nesse caso, não foi executada calçada no entorno da casa. Conforme a Diretriz desse sistema, as questões das interfaces foram detalhadas no DATec e são objeto de avaliação técnica.

Na Figura 6b, verificou-se um princípio de incêndio sem propagação do fogo, assim como prescrito na Diretriz de Avaliação e DATec do sistema.

Figura 6. Conjunto habitacional em execução de painéis de PVC e concreto. (a) Montagem do primeiro pavimento; (b) laje pré-fabricada; (c) detalhe do interior dos perfis e passagem de armaduras; (d) Montagem do segundo pavimento. Fonte: Autores (2016).

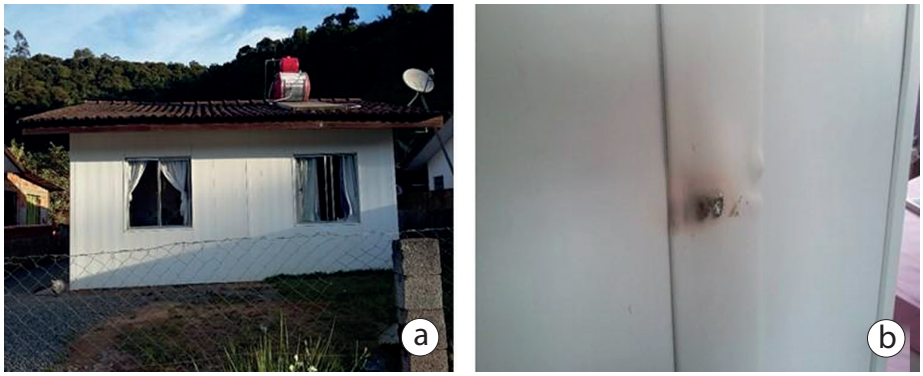


Figura 7. Conjunto habitacional em uso. (a) Vista da unidade habitacional; (b) Painel de PVC e princípio de incêndio sem propagação do fogo. Fonte: Autores (2016).

3.3. Painéis em Peças Leves de Madeira Maciça Serrada com Fechamento em Chapa (Diretriz N. 005 – Revisão 02 / DATec 20)

Os sistemas construtivos *wood frame* com montantes de madeira e fechamentos em madeira ou placas de gesso acartonado são largamente empregados no mundo e constitui a principal alternativa construtiva de residências na América do Norte (Canadá e Estados Unidos). O sistema construtivo abordado neste item guarda semelhança com a montagem de estruturas de residências em *wood frame* empregada nesses países.

No caso analisado, os painéis em peças leves de madeira serrada estruturais e fechamento externo em chapa de madeira estrutural são produzidos em uma unidade de fabricação no Estado do Paraná. Os setores da fábrica foram visitados em agosto de 2016 e estão delimitados conforme as etapas do processo: armazenamento das peças serradas e chapas estruturais e de revestimento, corte das peças maciças e chapas (Figura 8a,b), tombamento mecânico do painel para o chapeamento (Figura 8c), instalações, revestimento e acabamento/impermeabilização. A indústria possui um setor de controle de qualidade das peças maciças em madeira e dos componentes pré-fabricados, como compensados e placas de revestimentos. Os equipamentos de montagem são próprios para os cortes dos furos nas peças maciças (para passagem de instalações) e para a movimentação dos painéis pré-montados. Os painéis produzidos são estruturais e modulados conforme o projeto. O sistema permite o embutimento das instalações e o fechamento das faces do painel na fábrica. Os painéis de vedação chegam estruturados na obra para montagem final do sistema. A Figura 8d demonstra as camadas constituintes do sistema construtivo, da estrutura ao acabamento.

A setorização da fábrica dos painéis estruturados em peças de madeira está organizada de forma a atender o processo altamente mecanizado com equipamentos próprios para a produção, transporte e montagem, rigidamente locados no layout da fábrica. A empresa destaca-se pela automatização da linha de produção industrial: corte das peças de madeira, montagem dos quadros estruturais, chapeamento das faces com emprego de pouca mão de obra na fábrica. Embora os perfis de madeira maciças sejam leves após a montagem os painéis estruturados, necessitam de equipamentos para transporte dentro da fábrica e também no canteiro para a montagem, como caminhão guindauto, ponte rolantes ou gruas.

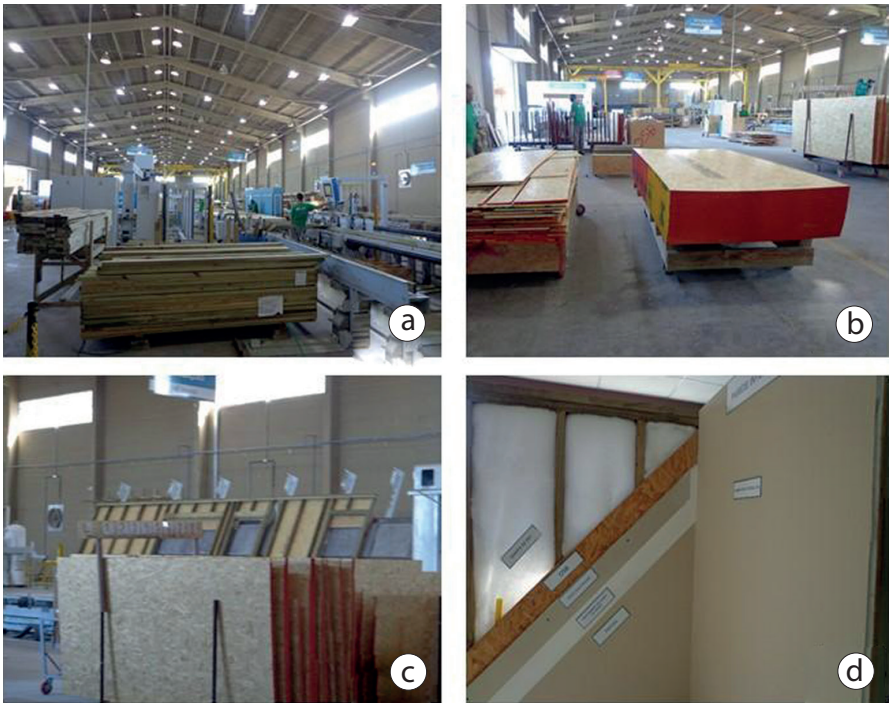


Figura 8. Fabricação dos painéis estruturados em peças leves de madeira (a) Perfis de madeira maciça serrada e tratada; (b) Chapas estrutural para fechamentos; (c) Corte das chapas e fechamento dos painéis; (d) Camadas dos painéis e isolamentos. Fonte: Autores (2016).

O sistema *wood frame* representa um avanço para a construção brasileira, tendo atingido dezenas de milhares de metros quadrados de área construída no Brasil. Deste valor, foram contratados pelo PMCMV e entregues mais de 500 unidades de habitação de interesse social (ABDI, 2015, p. 184). Atualmente a empresa atingiu 100 mil m^2 de área construída.

A obra em *wood frame* foi visitada em agosto do ano de 2016 e trata-se de uma edificação de múltiplos pavimentos. As fases encontradas na obra foram: acabamento externo com placas cimentícias (Figura 9a), chapeamento interno e instalações (Figura 9b), cobertura, instalações e forro (Figura 9c). A estrutura da cobertura é em perfis de madeira maciça serrada e fechamento em chapas de OSB com telhas cerâmicas. A Figura 9d representa parte dos tratamentos das áreas molhadas: um banheiro com fechamento interno em placa de gesso acartonado resistente à umidade, com impermeabilização para posterior revestimentos cerâmicos.

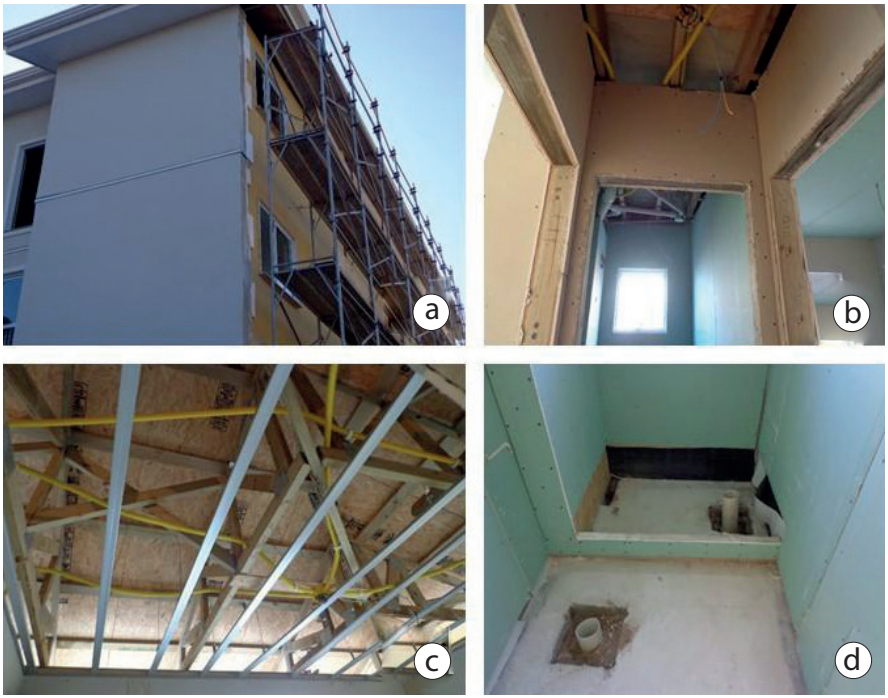


Figura 9. Edifício habitacional em execução em painéis estruturados em peças leves de madeira maciça serrada (a) Acabamento da fachada; (b) Vão das portas e chapeamento interno; (c) Estrutura da cobertura, forro e instalações; (d) Tratamento das áreas molhadas. Fonte: Autores (2016).

O conjunto habitacional em uso em sistema de painéis leves em madeira foi visitado em agosto e setembro do ano de 2016 e localiza-se em Curitiba-PR no Estado do Paraná. O conjunto foi financiado pelo PMCMV do Governo Federal em parceria com a Companhia de Habitação de Curitiba (COHAB-CT).

O conjunto possui 66 casas térreas geminadas com área total de 54,00 m^2. (Figura 10a). O programa da casa contempla sala/cozinha, banheiro, dois quartos e lavanderia externa. O sistema possui interfaces com sistemas convencionais, fundação, instalações embutidas, esquadrias e cobertura (Figura 10b). A cobertura com telhas cerâmicas possui beiral sem calha.

Assim como nos demais casos anteriores, as questões das interfaces dos sistemas foram detalhadas no DATec e foram objeto de avaliação técnica.

Figura 10. Conjunto habitacional em uso. (a) Vista das unidades habitacionais geminadas; (b) detalhe da fachada, cobertura/beiral e painel/esquadrias. Fonte: Autores (2016).

4. Considerações

A execução dos painéis e paredes de vedação ocorrem em unidades de pré-moldagem ou galpão industrial com equipamentos nacionais ou importados de grande porte ou com o emprego de técnicas construtivas convencionais, adaptadas ao ambiente fabril. Os sistemas disponíveis no sistema SiNAT e no mercado se diferenciam pelo grau de industrialização na fabricação, execução e na montagem. Em geral, as indústrias que produzem os sistemas construtivos não convencionais homologados pelo SiNAT possuem um controle tecnológico, e a gestão da qualidade subordina as construtoras, mediante o monitoramento das fases construtivas e da produção em canteiro, por meio de procedimentos detalhados no DATec para a correta aplicação do sistema em campo.

As unidades fabris podem garantir uma produção em série, rapidez na execução, menores custos, redução do desperdício de materiais e outras vantagens associadas à industrialização ou à pré-fabricação dos componentes da construção. O controle tecnológico rigoroso da manufatura dos componentes associado ao detalhamento dos procedimentos executivos detalhados no DATec garantem o desempenho do produto, a segurança aos usuários e confiabilidade à cadeia produtiva. Os impactos ambientais, podem ser minimizados pela redução ou eliminação de água na fabricação e/ou montagem e na redução de resíduos no canteiro. A redução da quantidade

de mão de obra na fábrica foi verificada pela mecanização do processo de fabricação e no canteiro pela montagem com uso de equipamentos.

Os painéis do sistema pré-moldado misto e os de peças de madeira são transportado e posicionado com o auxílio de caminhão guindauto (tipo "munk") ou outro equipamentos de movimentação de cargas, enquanto os painéis de PVC, caracterizados pela leveza do material, podem ser movimentados e posicionados manualmente, sem o auxílio de equipamentos, o que facilita a execução do trabalho diante das dificuldades de acesso e transporte ao local da montagem. Como o caso do sistema de painéis em PVC, a produção na fábrica ocorre com maior grau de industrialização e controle de qualidade dos perfis e, no canteiro, apresenta técnicas convencionais como a moldagem in loco dos painéis e lajes. O sistema de painéis estruturais com peças leves em madeira maciça serrada apresenta alto grau de industrialização na fábrica, maior controle de qualidade das peças e componentes utilizados e, no canteiro, a montagem é a seco.

O aprimoramento das tecnologias construtivas, a pré-fabricação e a industrialização de componentes é de fato vantajosa à construção dos conjuntos habitacionais que requerem rapidez para atender a demanda e redução de custos, em aplicações habitacionais diversas.

Dentro os sistemas, os de perfis leves em madeira são os que mais possuem restrições e detalhes de projeto sugeridos na Diretriz de Avaliação a serem especificadas no DATec. Portanto, esse sistema exige maior aprimoramento nos detalhes do projeto e cuidados relativos à fabricação e montagem.

Todas a diretrizes apresentadas trazem a necessidade de avaliação das interfaces dos sistemas inovadores com os convencionais, deixando a empresa proponente, ao DATec a responsabilidade sobre os detalhamentos e especificações. As Diretrizes excluem os sistemas convencionais das avaliações (fundações, instalações embutidas, esquadrias e telhamento). As coberturas são consideradas sistemas inovadores apenas para os sistemas em perfis leves em madeira e aço (sistemas de parede, entrepiso e cobertura). As esquadrias são classificadas pelas diretrizes como sistemas convencionais, cuja interface com o sistema inovador deve ser objeto de avaliação técnica para a homologação do DATec. Para este caso, as condições de estanqueidade é uma situação que pode ser verificada na avaliação de desempenho na fase de uso.

As questões relativas ao desempenho dos sistemas não foram abordadas, pois parte-se do pressuposto que os ensaios técnicos atendem ao prescrito nos documentos técnicos. Recomenda-se que as restrições de uso e as interfaces entre sistemas, quando determinadas pelas Diretrizes ou propostas pelos DATec's, sejam verificadas na fase de uso do empreendimento.

Embora o SiNAT possa ser aprimorado, os DATec's emitidos para os sistemas construtivos não convencionais garantem que o produto inovador atenda aos requisitos mínimos de desempenho, e que por introduzir aspectos normativos específicos contribuirá para a normatização futura do produto e difusão de novos sistemas construtivos no mercado, sendo comum os DATec´s servirem de base para o desenvolvimento de normas específicas para o produto que passam a ser considerado um sistema construtivo normalizado.

Neste contexto, a construção civil brasileira pode receber com maior segurança os incrementos e as melhorias do processo industrializado, que potencialmente têm como vantagens a redução do tempo de fabricação e da montagem em série, o detalhamento do projeto e das suas interfaces, melhor controle sobre o planejamento e a execução da obra, resultando na durabilidade do sistema construtivo e no atendimento dos requisitos de desempenho, principalmente no tocante aos aspectos de avaliação laboratorial.

Como veremos nos próximos capítulos, é possível pensar um aprimoramento ao SiNAT de forma a observar, também, o desempenho em uso e a consideração da percepção dos usuários para a melhoria dos sistemas construtivos e da produção habitacional brasileira.

Referências

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. **Manual da construção industrializada.** Conceitos e Etapas. Volume 1: Estrutura e vedação. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 16055:** Parede de concreto moldadas no local para a construção de edificações – Requisitos e Procedimentos**.** Rio de Janeiro. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575:** Edificações habitacionais. Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 16475:** Painéis de parede de concreto pré-moldado – Requisitos e Procedimentos. Rio de Janeiro. 2017.

BRASIL. **Ministério das cidades.** Sistema Nacional de Avaliação Técnica. Disponível em: http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php. Acesso em: abr. 2017.

FERREIRA, J.S.W. et al. **Produzir casas ou construir cidades?** Desafios para um novo Brasil urbano. Parâmetros de projeto para a implementação de projetos habitacionais e urbanos. LABHAB; FUPAM, 2012.

FLORIANE, R.; BEUREN, I.M.; HEIN, N. Análise comparativa da evidenciação de aspectos de inovações em empresas construtoras e multisetoriais. **JISTEM Revista de Gestão da Tecnologia e Sistemas de Informação**, v. 7, n. 3, 2010, p. 693-712.

GONÇALVES, O.M. et al. Normas técnicas para a avaliação de sistemas construtivos inovadores para a habitação. **Coletânea Habitare ANTAC**, v. 3. Normalização e Certificação na Construção Habitacional. Porto Alegre, 2003.

MONTANER, J.M.; MUXÍ, Z. **Residência estudantil da Unicamp.** Joan Villà, construções para a sociedade. Projetos, São Paulo, ano 13, n. 154.02, Vitruvius, out. 2013. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/projetos/13.154/4895>.

SLAUGHTER, E.S. **Implementation of construction innovations**, Building research & Information. 2010.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-5953-029-2.2017C0008.p.195-216

8 Avaliação de Habitações em Sistemas Construtivos Inovadores: Apresentação de Metodologia e Resultados da Análise de Documentação

Mena Cristina Marcolino Mendes
Fabiana Lopes Oliveira
Rosaria Ono
Sheila Walbe Ornstein
Márcio Minto Fabricio

1. Avaliação Pós-Ocupação para Sistemas Construtivos Inovadores

A proposta aqui apresentada referente à Avaliação Pós-Ocupação para Sistemas Construtivos Inovadores no contexto da Norma Brasileira de Desempenho em Edificações Habitacionais (ABNT, 2013) foi desenvolvida ao longo do período de 2011 a 2015, por uma equipe de pesquisadores constituída por nove arquitetos e engenheiros com diversas especialidades, as quais compreendiam os campos da gestão da qualidade, avaliação de desempenho no ambiente construído e percepção dos usuários de edifícios. Os resultados em termos de métodos proposto da referida pesquisa podem ser encontrados no primeiro livro publicado pelo projeto INOVATEC (FABRICIO; ONO, 2015).

2. Os Instrumentos

A metodologia é composta por um conjunto de seis instrumentos integrados já apresentados e disponíveis para consulta nos capítulos quatro

(http://dx.doi.org/10.4322/978-85-89478-42-7-04) e sete (http://dx.doi.org/10.4322/978-85-89478-42-7-07) do primeiro volume desta coletânea (FABRICIO; ONO, 2015). No capítulo dez deste livro, é apresentada a Figura 1 com uma síntese dos instrumentos de avaliação que compõem a metodologia.

Os instrumentos foram desenvolvidos com base no levantamento bibliográfico dos vários fatores técnicos passíveis de verificação para avaliação do desempenho de edificações habitacionais e nas experiências anteriores dos formuladores da metodologia. Para a validação desses instrumentos, foi realizado um workshop nacional com especialistas nos diversos tópicos da avaliação de desempenho e dois pré-testes parciais: um realizado em conjunto habitacional multifamiliar e outro em conjunto de unidades unifamiliares. Tal processo já foi apresentado e discutido por Ono et al. (2015a).

No entanto, havia ainda a necessidade de se aplicar os instrumentos de forma integrada e em escala, para a validação efetiva do método.

Dentro deste contexto, foi possível aplicar a APO em escala em um empreendimento habitacional, entre junho de 2015 e agosto de 2016, envolvendo todas as fases propostas para o método: a análise documental do projeto, as inspeções técnicas e a aplicação de questionários estruturados a moradores de unidades habitacionais, definidos segundo critérios de aleatoriedade na seleção e na aplicação em campo, por meio de uma amostragem estatisticamente representativa.

Também, atendendo a pré-requisitos mais recentemente absorvidos e cuja prática tem sido adotada em pesquisas científicas de APO, em 2015 o projeto de pesquisa em questão e os instrumentos a serem aplicados junto aos usuários, especialmente junto aos morados do conjunto habitacional escolhido como estudo de caso, situado em um município do estado de São Paulo, foram submetidos à Plataforma Brasil, vinculada ao Ministério da Saúde (http://portal2.saude.gov.br/sisnep/Menu_Principal.cfm) e com implementação autorizada pelo Comitê de Ética indicado nesta Plataforma (processo CAAE 49362415.1.0000.5390, submetido em 19/09/2015 e aprovado em 27/10/2015).

A aplicação do método em campo contou com equipe formada por duplas de pesquisadores com experiência na área de arquitetura e engenharia civil.

Tendo em vista que o projeto de pesquisa em questão apresentava como principal objetivo o desenvolvimento de instrumentos que pudessem ser

utilizados não só pelos especialistas que os desenvolveram, mas também por outros profissionais e pesquisadores, foram também elaborados procedimentos (documentos) e instruções para possibilitar a aplicação de todos os instrumentos, apresentados na forma de Manuais.

Dos seis instrumentos, cinco foram aplicados no estudo caso, a saber:

- Ficha de Verificação de Documentação de Projeto (destinada a: 1. levantar dados nos documentos de projetos e memoriais do sistema construtivo e do projeto de construção do conjunto habitacional; e 2. analisar documentação relativa ao uso, operação e manutenção);
- Ficha de Verificação da Obra in loco (checklist de inspeção de desempenho dos sistemas e subsistemas construtivos em uso);
- Ficha de Avaliação da Manutenção in loco (checklist de verificação da manutenibilidade e estado de conservação dos sistemas e subsistemas construtivos em uso);
- Questionário ao Morador (para avaliação da percepção e nível de satisfação dos usuários em relação ao sistema construtivo e ao projeto da habitação);
- Roteiro de entrevista com profissional prestador de serviços de assistência técnica (busca levantar as solicitações de manutenção e dados sobre a manutenção e assistência técnica prestada durante o tempo de garantia do empreendimento).

Somente o instrumento "entrevista com síndico ou zelador" não foi aplicado ao estudo de caso, pois o empreendimento não apresentava a organização em forma de condomínio.

A aplicação dos métodos cumpriu a seguinte ordem: de atividades pré-campo e em campo para cada tipo de avaliação.

Ressalta-se que, neste capítulo, os resultados da aplicação de instrumentos se limitam à "Análise de Documentação" realizada pelos especialistas em atividades pré-campo.

3. Análise de Documentação (Atividade Pré-campo)

Foram desenvolvidos modelos de ficha de análise de documentos técnicos (projetos, especificações, etc.), cujos preenchimentos e análises visam fornecer fundamentação e apoio aos trabalhos de campo, seja no caso da avaliação de desempenho físico e de manutenibilidade realizada pelos especialistas, seja no que se refere à aferição da satisfação e da percepção dos usuários respondentes

quanto às suas moradias (sobre o sistema construtivo, desempenho ambiental, funcionalidade, acessibilidade e outros quesitos de desempenho).

Os modelos podem ser divididos em dois grandes tipos (Figura 1), de acordo com sua finalidade, a saber:

- Verificação dos Projetos (análise do desempenho da edificação e de seus componentes);
- Roteiro de avaliação da manutenibilidade (da edificação e de seus componentes).

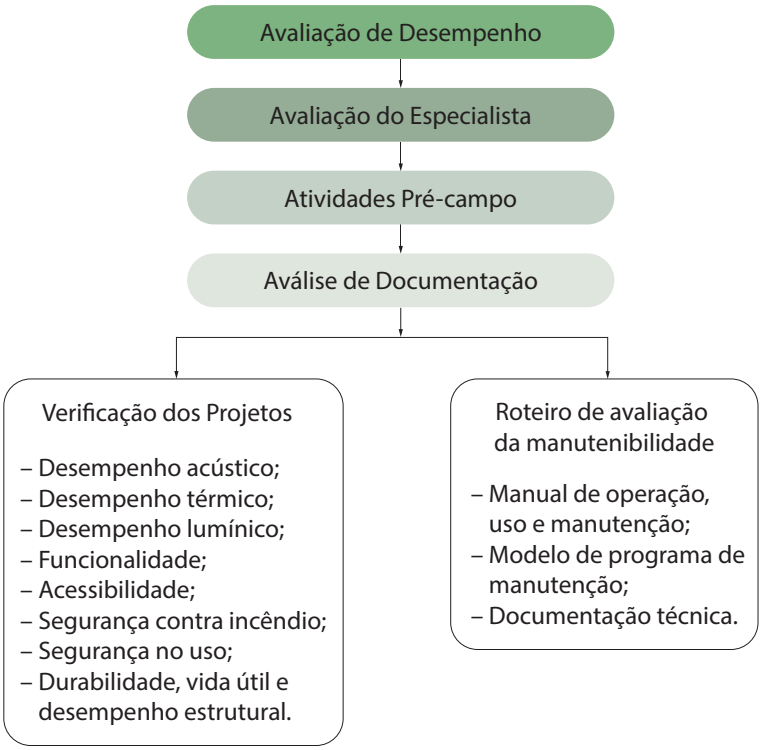


Figura 1. Instrumentos que compõem o Método referente à Análise de Documentos.

Os resultados da aplicação desses dois conjuntos de instrumentos no estudo de caso podem ser vistos a seguir, neste capítulo.

3.1. Verificação dos Projetos

A verificação de desempenho com base em documentação técnica tem como objetivo a obtenção dos dados básicos de projeto, especificações e dados

técnicos de desempenho do sistema construtivo e de seus componentes, assim como a verificação do atendimento aos requisitos de desempenho passíveis de análise por documentação.

No que concerne à aplicação do roteiro para avaliação de desempenho, são utilizados os seguintes documentos, a serem fornecidos pelo empreendedor/construtor das habitações, conforme Ono et al. (2015b):

- Plantas e cortes de todos os projetos executivos, inclusive os complementares, bem como projetos utilizados para aprovação do empreendimento na prefeitura e corpo de bombeiros;
- Memorial descritivo do projeto;
- Certificados de ensaios e avaliações de desempenho dos componentes construtivos;
- Características técnicas dos materiais e componentes construtivos, como transmitância térmica, índice de redução sonora ponderado e capacidade térmica, calor específico, densidade superficial de massa, dentre outros;
- Documentação de aprovação do sistema construtivo, quando inovador (por exemplo, DATec/SiNAT).

A análise da documentação deve ser realizada por profissionais capacitados para avaliação técnica, preferencialmente ligados a uma ITA (Instituição Técnica Avaliadora) credenciada pelo SiNAT. O roteiro de verificação documental é composto por 8 temas, totalizando 8 fichas a serem preenchidas. Para os temas que não possuem aspectos a serem verificados, disponibilizou-se um espaço para comentários de eventuais características consideradas dignas de registro.

As fichas abordam os seguintes temas da norma de desempenho (ABNT, 2013):

- Desempenho Acústico;
- Desempenho Térmico;
- Desempenho Lumínico;
- Funcionalidade;
- Acessibilidade;
- Segurança Contra Incêndio;
- Segurança no Uso;
- Durabilidade, Vida Útil e Desempenho Estrutural.

Em cada uma das fichas, conforme a Figura 2, de acordo com o tema, são elencados os requisitos e os critérios a serem verificados pelo profissional responsável, com vistas à aferição do desempenho em projeto.

No.	Requisitos e Critérios	Nível de importância	Nível de atendimento			
			Atende	Não atende	Não se Aplica	Não verificado
01	1.	Obrigatório				
02	2.	Obrigatório				
03	n.	Facultativo				

Figura 2. Modelo da ficha de verificação de desempenho em projeto.

3.2. Avaliação da Manutenibilidade

O roteiro para avaliação da manutenibilidade com base em análise de documentos técnicos de sistemas construtivos inovadores tem por objetivo principal detectar irregularidades e inconsistências a partir das normas correlatas e da verificação dos requisitos obrigatórios e facultativos, além de julgar o grau de manutenibilidade do produto ou sistema construtivo inovador.

O instrumento, detalhado em Sanches, et al. (2015), é constituído por um roteiro com itens referentes à documentação técnica que deve ser analisada. O referido instrumento está dividido em três partes, a saber:

- Manual de Operação, Uso e Manutenção;
- Modelo de Programa de Manutenção;
- Documentação Técnica (projetos executivos, projetos de impermeabilização, memorial descritivo, normas pertinentes, etc.).

As fichas para avaliação de documentação técnica apresentam em sua estrutura os seguintes campos (vide exemplo genérico da Figura 3):

- Requisitos a serem avaliados;
- Caráter dos requisitos (facultativo ou obrigatório);
- Campo para avaliação do atendimento aos requisitos (atende – A, não atende – NA, não se aplica – NSA ou não verificado – NV);

- Campo para avaliação da qualidade da informação disponível na documentação, com as opções (Atende satisfatoriamente – AS e Atende, mas de forma Insatisfatória – AI);
- Campo para inserção de observações.

Requisitos	Caráter do requisito	Atendimento aos requisitos				Qualidade da informação		Observações Complementares
		A	NA	NSA	NV	AS	AI	
01 ...	Obrigatório							(a serem inseridas pelo avaliador)
02 ...	Obrigatório							(a serem inseridas pelo avaliador)
03 ...	Facultativo							(a serem inseridas pelo avaliador)

Figura 3. Esquema da ficha de avaliação de documentos técnicos 1. Manual de operação, uso e manutenção.

Os **requisitos** apresentados nas fichas têm como base as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, diretrizes do Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Sistemas Inovadores e Convencionais – SiNAT, e conceitos de Flexibilidade e Adaptabilidade adotados, que podem ser conferidos em detalhes no primeiro livro da série (SANCHES et al., 2015).

4. Descrição do Empreendimento e do Sistema Construtivo Avaliado

A APO foi aplicada em um conjunto habitacional projetado em 2011 e com construção concluída em 2013, financiado pelo poder público estadual, em um município de pequeno porte, localizado no interior do estado de São Paulo. O conjunto contempla 336 habitações térreas unifamiliares isoladas de 52,36 m^2 (3 dormitórios, sala de estar, cozinha e banheiro), construídas em lotes de aproximadamente 210 m^2. Ver Figura 4 e 5, a seguir.

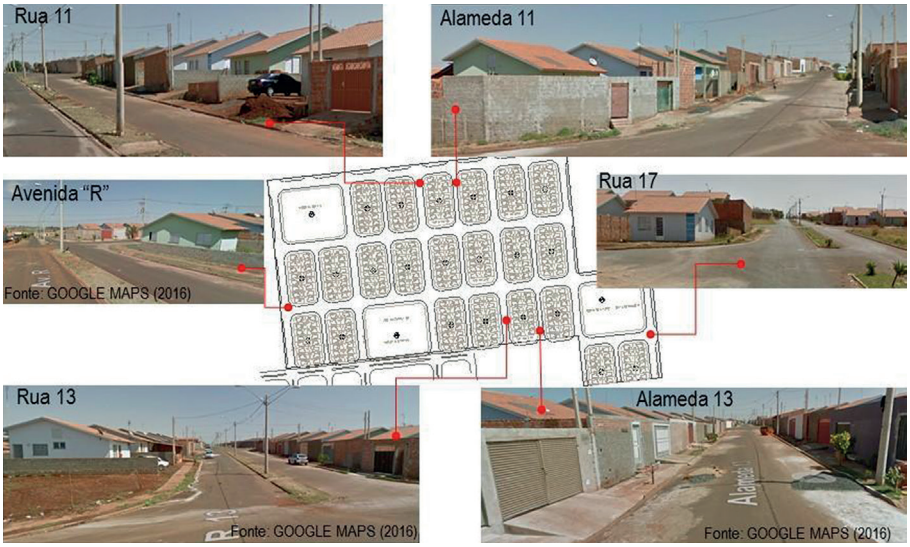


Figura 4. Implantação do empreendimento. Fonte: Mapa Fornecido pela Construtora e Google Maps, acessado em 2016.

O sistema construtivo é constituído de painéis pré-fabricados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos para vedação vertical (paredes). Essas paredes são estruturais, destinadas à construção de casas térreas e sobrados isolados ou geminados. Para o caso em análise (casas isoladas), a espessura total do painel é de 110 mm, formada por blocos cerâmicos de 9 cm de espessura e por duas camadas de revestimento de argamassa com espessura de 1 cm de cada lado.

Os painéis possuem, em todo o seu perímetro, um quadro externo reforçado por treliças metálicas e nervuras internas com barras de aço. A resistência característica mínima à compressão do concreto é de 25 MPa. As juntas entre os blocos são preenchidas com argamassa. Os revestimentos externos recebem pintura ou textura acrílica, e as faces internas recebem pintura PVA ou acrílica. As paredes podem receber revestimento cerâmico.

Os painéis são ligados entre si, por meio de *inserts* e chapas de aço protegidos com a aplicação do *primer* epóxi rico em zinco, totalizando quatro pontos de solda ao longo da altura do painel. As juntas entre os painéis são preenchidas com um corpo de apoio (barbante espesso) e posteriormente com um selante acrílico. Eletrodutos, caixas de passagem e instalações hidráulicas

são embutidos nos painéis. As esquadrias das janelas são posicionadas nas fôrmas antes da concretagem das nervuras dos painéis.

A avaliação técnica do sistema foi realizada conforme as prescrições da Diretriz SiNAT, n. 002 (revisão 01), passando pelas etapas de análise de projetos, ensaios laboratoriais e de comportamento estrutural, vistorias em obras e por demais avaliações citadas no respectivo Documento de Avaliação Técnica (DATec) obtido. As avaliações técnicas do sistema construtivo em questão atestam: desempenho estrutural, estanqueidade à água, desempenho térmico, desempenho acústico, resistência ao fogo, durabilidade e manutenibilidade.

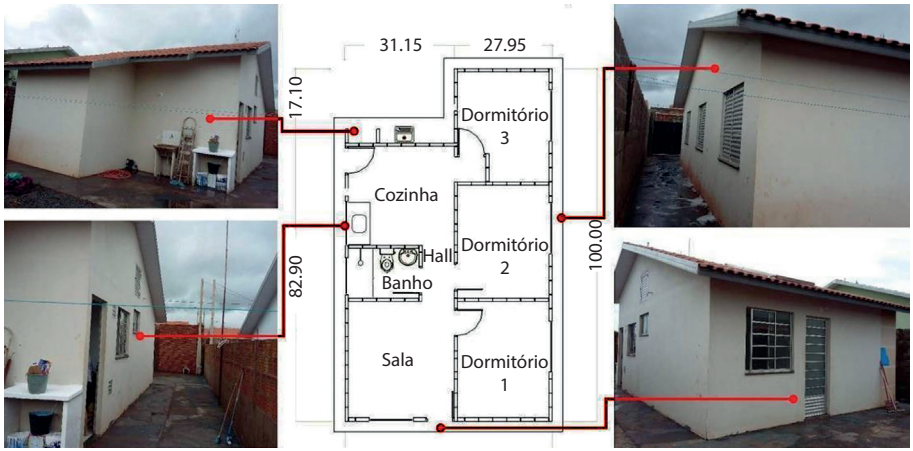


Figura 5. Unidade habitacional analisada e planta baixa padrão (sem escala). Fonte: Planta fornecida pela construtora.

5. Resultados da Análise da Documentação

Os resultados da análise da documentação serão apresentados e discutidos a seguir, considerando as Fichas de Verificação dos Projetos, subdivididas em oito itens, e as Fichas de Avaliação da Manutenibilidade, subdivididas em três fichas, de acordo com os documentos analisados.

5.1. Fichas de Verificação dos Projetos

As fichas de verificação dos projetos por meio de documentação abordam vários aspectos que afetam a qualidade e a segurança de uma edificação.

Para a aplicação desse instrumento, realizou-se a consulta aos seguintes documentos disponíveis para o estudo de caso em análise: a) plantas e cortes do projeto arquitetônico; b) memorial descritivo do projeto; c) manual do usuário, projetos de instalações; d) documentação de aprovação do sistema construtivo inovador (DATec); e) normas técnicas.

Os requisitos e critérios avaliados que constam na ficha de verificação são aqueles definidos nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

Para cada requisito ou critério analisado, uma avaliação foi realizada e uma classificação foi atribuída, conforme descrito em Fabricio; Ono (2015), às seguintes condições:

- Atende – Quando o indicador objeto da questão é atendido plenamente;
- Não atende – Quando o atendimento ao indicador objeto da questão é parcial ou não é atendido;
- Não se aplica – Quando o indicador objeto da questão inexiste na unidade ou edifício avaliado, portanto, não é aplicável;
- Não verificado – Quando, por algum motivo, não foram aplicados os métodos necessários para verificação do atendimento, ou não, ao indicador objeto da questão.

A avaliação realizada observou o desempenho acústico, térmico e lumínico, funcionalidade, acessibilidade, segurança contra incêndio e durabilidade, vida útil e desempenho estrutural da edificação.

A Tabela 1 apresenta um resumo geral das frequências dos requisitos obrigatórios e facultativos atendidos por tema abordado.

Tabela 1. Número total de requisitos atendidos na análise de documentação técnica.

Documentação Técnica	Atende	Não atende	Não se aplica
Requisitos		**Obrigatórios**	
Desempenho acústico	0/2 (0%)	0/2 (0%)	2/2
Desempenho térmico	2/5 (40%)	3/5 (60%)	0/5 (0%)
Desempenho lumínico	-	-	-
Funcionalidade	11/14 (78%)	3/14 (22%)	0/14 (0%)
Acessibilidade	0/3 (0%)	2/3 (67%)	1/3 (33%)
Segurança contra incêndio	8/17 (47%)	0/17 (0%)	9/17 (53%)

Tabela 1. Continuação.

Documentação Técnica	Atende	Não atende	Não se aplica
Requisitos		**Obrigatórios**	
Durabilidade, vida útil e desempenho estrutural	11/16 (69%)	3/16 (19%)	2/16 (12%)
Subtotal (obrigatórios)	**32/57 (56%)**	**11/57 (19%)**	**14/57 (25%)**
Requisitos		**Facultativos**	
Desempenho acústico	0/3 (0%)	0/3 (0%)	3/3 (100%)
Desempenho térmico	-	-	-
Desempenho lumínico	1/1 (100%)	0/1 (0%)	0/1 (0%)
Funcionalidade	3/5 (60%)	2/5 (40%)	0/5 (0%)
Acessibilidade	2/3 (67%)	0/3 (0%)	1/3 (33%)
Segurança contra incêndio	-	-	-
Durabilidade, vida útil e desempenho estrutural	-	-	-
Subtotal (facultativos)	**6/12 (50%)**	**2/12 (17%)**	**4/12 (33%)**
Total	**38/69 (55%)**	**13/69 (19%)**	**18/69 (26%)**

Dos itens de verificação de atendimento aos requisitos de desempenho, tanto nos obrigatórios como nos facultativos, os valores obtidos foram semelhantes, atingindo uma média de 55%. No entanto, ao se excluir os itens que não se aplicam, a relação entre os itens atendidos e não atendidos passa a ser 3 (atendidos) para 1(não atendido), ou seja 75% contra 25%.

Foi possível verificar na aplicação que um número significativo de itens previstos na metodologia foi respondido como *não se aplicam,* correspondendo 26% das questões, Isso se deve ao caráter genérico e abrangente da metodologia, que foi desenvolvida para diferentes configurações de empreendimento. Tal fato aponta para uma discussão sobre a necessidade de adequar, previamente, à aplicação, as fichas de avaliação a cada estudo de caso, de modo a otimizar o tempo de realização da pesquisa de campo.

A seguir, apresentam-se os resultados parciais por requisito de desempenho.

a) Desempenho acústico

A avaliação do desempenho acústico da edificação, com base nos projetos analisados, resultou na alternativa "não se aplica", pois todos

os requisitos e critérios exigidos se referem às vedações entre unidades habitacionais. No caso do conjunto habitacional considerado, as unidades eram casas isoladas, sem paredes de geminação, não sendo necessário avaliar essa exigência (Figura 6).

COMENTÁRIOS ADICIONAIS

Os itens relacionados ao Desempenho Acústico não se aplicam a edifícios unifamiliares térreos. Neste caso a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) para edificações térreas e sobrados geminados com parede entre unidades autônomas ou geminadas, quando o ambiente em questão não é dormitório, estabelece como critério de desempenho mínimo DnTw de 40 (dB). Os resultados do DATec indicam isolação sonora realizada em campo para paredes entre unidades, em espessura de 140 mm, entre 41 e 43 (dB).

Respostas	Classificação				
	Atende	Não atende	Não se aplica	Não verificado	%
OBRIGATÓRIO (Valor absoluto e %)	0	0	2	0	**40**
FACULTATIVO (Valor absoluto e %)	0	0	3	0	**60**
TOTAIS (Valor absoluto e %)	0	0	5	0	**100**

Figura 6. Desempenho acústico.

b) Desempenho térmico

Para a análise do desempenho térmico, considerou-se a zona climática 4, com base na NBR 15220-3 (ABNT, 2005). Para esta zona climática, a relação entre abertura para ventilação (A) mínima e área do ambiente deve ser A ≥ 7(%). Os valores atingidos pelos dormitórios foram de até 9,8% (situação mais crítica) e pela sala de estar 7,2%, atendendo, portanto, aos requisitos. Não há informações específicas quanto à transmitância e capacidade térmica no DATec, mas a avaliação térmica foi realizada por meio de simulações computacionais. No que se refere a esta análise, foram considerados os resultados para casas térreas com forro de laje nervurada de concreto com 50mm de espessura e sombreamento. Nesta condição e para que as exigências da DIRETRIZ SiNAT n. 0002 sejam atendidas, a cor do acabamento externo das paredes de fachada exige pintura clara ou média. Embora, no manual de uso e manutenção, conste na tabela "materiais instalados" o tipo e a cor das tintas com que as paredes externas foram entregues, não existe nenhuma especificação para o morador sobre a necessidade de manter cores claras ou médias como condição para o desempenho térmico. Logo, foi atribuída para

os itens relacionados à capacidade e transmitância térmica a classificação "não atende" (Figura 7).

COMENTÁRIOS ADICIONAIS
O conjunto habitacional analisado encontra-se na zona bioclimática 4.
01,02 – Considerando a relação entre a abertura de ventilação (A) mínima e área do ambiente previsto para a zona climática de A ≥ 7%, observa-se que os dormitórios apresentam até 9,5%, sala com 7%, banheiro com 10,5% e cozinha com 7%.
03,04 e 05 – O DATec não detalha informações sobre transmitância e capacidade térmica, apresentando uma tabela síntese das condições necessárias para atendimento das exigências de desempenho térmico presentes na Diretriz SiNAT n. 002, em que casas térreas com forro de laje nervurada de concreto com 50 mm de espessura e sombreamento, como são as unidades avaliadas, exigem pintura clara ou média. **O manual de uso e manutenção, embora especifique na tabela "materiais instalados" o tipo e a cor das tintas com que as paredes externas foram entregues, não avisa ao morador sobre a necessidade de manter cores claras ou médias como condição para o conforto térmico.**
Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), caso não atenda ao requisito, a verificação pode ser feita por simulação com software adequado.

Respostas	Classificação				
	Atende	Não atende	Não se aplica	Não verificado	%
OBRIGATÓRIO (Valor absoluto e %)	**2(40%)**	**3(60%)**	0	0	**100**
FACULTATIVO (Valor absoluto e %)	0	0	0	0	0
TOTAIS (Valor absoluto e %)	**2(40%)**	**3 (60%)**	0	0	**100**

Figura 7. Desempenho térmico.

c) Desempenho lumínico

Todos os dormitórios possuem mecanismos de controle de iluminância (venezianas integradas aos caixilhos), logo atendiam ao requisito relacionado ao desempenho lumínico, passível de verificação via documentação.

d) Funcionalidade

Quanto à avaliação sobre funcionalidade, o único requisito classificado como "não se aplica" foi conferido à conjugação entre unidades, visto que são casas térreas isoladas, não geminadas. Nos ambientes de copa-cozinha, área de serviço, lavanderia e locais análogos não há um ponto de tomada para cada 3,5 m lineares de parede, conforme exigido no requisito, por isso atribuiu-se "não atende" para esse item, embora a exigência de duas tomadas acima da bancada da pia seja atendido.

Consta no manual do proprietário que "*As paredes foram dimensionadas para resistir aos esforços calculados, sendo responsáveis pela sustentação da casa não podendo ser danificadas ou retiradas*", dessa forma, como o sistema construtivo é de paredes estruturais, não há liberdade de conjugação dos ambientes da habitação. Sendo assim, considerou-se "não atende" para esse item. Em todos os demais itens, o sistema construtivo atende aos requisitos exigidos (Figura 8).

COMENTÁRIOS ADICIONAIS
* – As áreas mínimas dos itens 01 a 07 foram obtidas através dos mobiliários e áreas de circulação mínima da NBR 15575-1 (ABNT, 2013).
*6 – a área de serviço não tem uma delimitação física, mas no projeto a área indicada é maior que o especificado.
*12 – Área útil = 47,39 m², área de corredor 2,25 m².
*14 – Atende apenas quanto as tomadas médias acima da bancada.

Respostas	Classificação				
	Atende	**Não atende**	**Não se aplica**	**Não verificado**	**%**
OBRIGATÓRIO (Valor absoluto e %)	**11 (78%)**	**2 (50%)**	0	0	**12 (67%)**
FACULTATIVO (Valor absoluto e %)	**3 (22%)**	**2 (50%)**	0	0	**5 (33%)**
TOTAIS (Valor absoluto e %)	**14 (100%)**	**4 (100%)**	0	0	**18 (100%)**

Figura 8. Funcionalidade.

e) Acessibilidade

Para a avaliação da acessibilidade, foi considerado o projeto relativo à unidade com essa característica. Dois itens foram avaliados na categoria "não se aplica" por não se tratarem de requisitos relativos a casas térreas, mas sim a apartamentos (largura de corredores de circulação, hall de elevadores e vestíbulos). Dentre os projetos analisados, não havia nenhum que apresentasse a possibilidade de analisar o trajeto e a largura dos caminhos do entorno das unidades, com a função de ligar a porta da unidade à rua; atribuiu-se assim "não atende" para esses requisitos. Os demais itens, quanto ao tamanho dos vãos das portas, à inexistência de soleiras com desnível igual ou superior a 5mm e ao círculo de 1,50 m de diâmetro no centro do banheiro, receberam a classificação de "atende" (Figura 9).

COMENTÁRIOS ADICIONAIS 01 – Não há projeto de calçada ligando a porta da unidade à rua.					
Respostas	**Classificação**				
	Atende	**Não atende**	**Não se aplica**	**Não verificado**	**%**
OBRIGATÓRIO (Valor absoluto e %)	0	**2**	**1**	0	**3 (50%)**
FACULTATIVO (Valor absoluto e %)	**2**	0	**1**	0	**3 (50%)**
TOTAIS (Valor absoluto e %)	**2**	**2**	**2**	0	**6 (100%)**

Figura 9. Acessibilidade.

f) Segurança contra incêndio

Na análise sobre segurança contra incêndio, foi atribuída a alternativa "não se aplica" a todos os requisitos referentes às áreas comuns, pois o conjunto habitacional analisado não apresentava organização em forma de condomínio. Além disso, na análise dos requisitos relativos à unidade habitacional, os itens que diziam respeito à existência de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas e a selagem corta-fogo nos *shafts* verticais também foram considerados "não se aplica". Todos os demais itens foram considerados "atende" (Figura 10).

COMENTÁRIOS ADICIONAIS 01 – A classe de reação ao fogo dos materiais não está especificada no manual e nos projetos. Porém os materiais estão descritos por ambiente.					
Respostas	**Classificação**				
	Atende	**Não atende**	**Não se aplica**	**Não verificado**	**%**
OBRIGATÓRIO (Valor absoluto e %)	**8**	0	**9**	0	**17 (100%)**
FACULTATIVO (Valor absoluto e %)	0	0	0	0	0
TOTAIS (Valor absoluto e %)	**8**	0	**9**	0	**17(100%)**

Figura 10. Segurança contra incêndio.

g) Durabilidade, vida útil e desempenho estrutural

Quanto à avaliação sobre durabilidade, vida útil e desempenho estrutural, dois itens foram considerados "não se aplica" por tratarem de impermeabilização de pisos, jardins e de paredes em contato com solo (que não havia nos projetos da unidade analisada) e detalhes construtivos desnecessários à cobertura para escoamento da água, pois o telhado é de

2 águas sem platibandas e sem calhas. Quanto aos requisitos concernentes às especificações da previsão quantitativa de todos os materiais necessários para as diferentes modalidades de manutenção e às especificações para drenar a água de chuva em ruas internas ou no entorno, foram considerados como "não atende". Fato que se deu porque não havia informações sobre os quantitativos de materiais nos documentos referentes à manutenção, como também não foi apresentado projeto de drenagem do terreno para análise. Ressalta-se que em alguns requisitos avaliados como "atende" foram consideradas algumas ressalvas. No item sobre a especificação da VUP de projeto, constatou-se que apenas a vida útil de projeto da estrutura, dos painéis, do material concreto, do selante das juntas externas e do sistema de pinturas está determinada. Acerca dos demais sistemas, não consta nenhuma especificação. No requisito sobre garantia de estanqueidade na ligação entre os diversos elementos da construção, estavam especificados somente procedimentos para estanqueidade à água das juntas (interfaces) entre painéis, entre parede e pisos internos e externos (calçadas) (Figura 11).

COMENTÁRIOS ADICIONAIS
*2 – A vida útil de projeto da estrutura, dos painéis, do material concreto, do selante das juntas externas e do sistema de pintura está especificada. Dos demais sistemas não consta especificação.
*4 – Como é casa térrea para a inspeção da caixa d'água há uma porta de acesso.
*8c – Atende à estanqueidade à água das juntas (interfaces) entre painéis, entre parede e pisos internos e externos (calçadas).
*9 – O telhado é de duas águas, sem platibandas (sem calhas). Não se aplica.

Respostas	Classificação				
	Atende	Não atende	Não se aplica	Não verificado	%
OBRIGATÓRIO (Valor absoluto e %)	**11 (69%)**	**3 (19%)**	**2 (12%)**	0	**16 (100%)**
FACULTATIVO (Valor absoluto e %)	0	0	0	0	
TOTAIS (Valor absoluto e %)	**11 (69%)**	**3 (19%)**	**2 (12%)**	0	**16 (100%)**

Figura 11. Durabilidade, vida útil e desempenho estrutural.

5.2. Avaliação da Manutenibilidade

O número de requisitos atendidos no estudo de caso é apresentado nas tabelas seguintes.

Tabela 2. Número total de requisitos atendidos por ficha de avaliação de documentação técnica.

Instrumento de Avaliação de Documentação Técnica	nº de requisitos obrigatórios atendidos	nº de requisitos facultativos atendidos	nº total de requisitos atendidos por ficha
Ficha 1. Manual de operação, uso e manutenção	54/110 (49%)	12/20 (60%)	66/130 (51%)
Ficha 2. Modelo de Programa de Manutenção	8/19 (42%)	1/5 (20%)	9/24 (37%)
Ficha 3. Documentação técnica	3/21 (14%)	3/10 (30%)	6/31 (19%)
Total de requisitos atendidos	**requisitos obrigatórios**	**requisitos facultativos**	**requisitos atendidos**
	65/156 (52%)	16/29 (55%)	81/185 (44%)

É possível verificar que o número total de requisitos obrigatórios atendidos nas fichas (Tabela 2) é baixo, não ultrapassando 49% no caso da Ficha 1 e chegando somente aos 14%, na pior situação, em relação à análise da documentação técnica – Ficha 3.

Em uma análise dos requisitos obrigatórios da Ficha 1 (Tabela 3), verifica-se que muitos itens não são parcialmente atendidos (39%) e 12% não se aplicam.

Tabela 3. Número total de requisitos atendidos na Ficha 1 – detalhamento.

Ficha 1. Manual de Operação, Uso e Manutenção			
Atendimento aos requisitos	**110 requisitos obrigatórios**	**20 requisitos facultativos**	**Total 130 requisitos**
Atende	54 (49%)	12 (60%)	66 (51%)
Não atende	43 (39%)	8 40%)	51(39%)
Não se aplica	13 (12%)	0	13 (10%)
Não verificado	0	0	0
Total	110(100%)	20 (100%)	130 (100%)
Qualidade da informação	**37 requisitos obrigatórios atendidos***	**10 requisitos facultativos atendidos***	**Total 47 requisitos atendidos***
Atende Satisfatório	24	06	30
Atende Insatisfatório	13	04	17

(*) Na ficha 1, nem todos os requisitos podem ser classificados em "atende satisfatório" ou"atende insatisfatório".

Os requisitos obrigatórios não atendidos se referem à falta de fornecimento de dados de fornecedores e da relação de documentações de ordem técnica e legal, conforme consta na norma. Outros requisitos obrigatórios ausentes dizem respeito às orientações para os proprietários em relação à manutenção de partes da edificação, ao registro das manutenções realizadas, à responsabilidade dos proprietários e à atualização do manual, sempre que necessário.

Dentre os requisitos facultativos, os não atendidos são relativos a algumas informações sobre flexibilidade e adaptabilidade da edificação que não constam no Manual do estudo de caso.

Uma análise crítica da Ficha 1 e de seus requisitos obrigatórios leva à reflexão e necessidade de eventual revisão desse instrumento, sob o ponto de vista da análise do Manual de Operação, Uso e Manutenção de habitações unifamiliares isoladas voltada à população de baixa renda. Por exemplo, neste caso, a viabilidade do proprietário realizar a revisão periódica do Manual em função das alterações físicas no edifício ou devido à troca de parte dos sistemas instalados, é praticamente nula.

A análise da Ficha 2, que avalia o modelo do programa de manutenção que consta no Manual de Operação, Uso e Manutenção, é apresentada na Tabela 4. Verifica-se que dos 19 requisitos obrigatórios, somente 8 (42%) foram atendidos, e destes, 2 não apresentaram uma qualidade de informação satisfatória. Dos 5 requisitos facultativos, apenas um atendeu às exigências e de forma parcial. Assim, a análise do conteúdo do programa de manutenção leva à conclusão de que ele deve ser aprimorado.

Tabela 4. Número total de requisitos atendidos na Ficha 2 – detalhamento.

Ficha 2. Modelo de Programa de Manutenção			
Atendimento aos requisitos	**19 requisitos obrigatórios**	**5 requisitos facultativos**	**Total 24 requisitos**
Atende	8 (42%)	1 (20%)	9 (37,5%)
Não atende	11 (58%)	4 (80%)	15 (62,5%)
Não se aplica	0	0	0
Não verificado	0	0	0
Qualidade da informação	**8 requisitos obrigatórios atendidos**	**1 requisito facultativo atendido**	**Total 9 requisitos atendidos**
Atende Satisfatório	6 (75%)	0	6 (67%)
Atende Insatisfatório	2 (25%)	1 (100%)	3 (33%)

Entre os itens não atendidos da Ficha 2, ressalta-se o referente ao conteúdo da manutenção. Dentre cinco itens, quatro não foram atendidos (não especifica todas as atividades essenciais de manutenção; não especifica os responsáveis pela execução das atividades essenciais de manutenção; não especifica os documentos de referência e as referências normativas; e não informa que o programa de manutenção deve ser atualizado periodicamente [NBR 5674 – item 4.3.1, (ABNT,2012)]

Além disso, o programa de manutenção descrito no Manual não informa a documentação necessária para a realização dessa atividade [NBR 5674 – item 7.1 (ABNT, 2012)], não atendendo a mais 8 itens que constam na ficha 2.

O balanço da avaliação da Ficha 3 é apresentado na Tabela 5. O preenchimento e a análise dessa Ficha foram prejudicados pela não disponibilidade de documentação técnica detalhada do projeto, tais como os projetos executivos de todos os sistemas instalados (hidrossanitários, elétricos, estruturas, vedações, cobertura, etc.). Desta forma, muitos itens não foram verificados (48% dos itens obrigatórios e 30% dos itens facultativos). Além disso, 38% dos itens obrigatórios tiveram como resposta a opção "não se aplica".

Tabela 5. Número total de requisitos atendidos na Ficha 3 – detalhamento.

Ficha 3. Documentação Técnica			
Atendimento aos requisitos	**21 requisitos obrigatórios**	**10 requisitos facultativos**	**Total 31 requisitos**
Atende	3 (14%)	3 (30%)	6 (19%)
Não atende	0	4 (40%)	4 (13%)
Não se aplica	8 (38%)	0	8 (26%)
Não verificado	10 (48%)	3 (30%)	13 (42%)
Qualidade da informação	**3 requisitos obrigatórios atendidos**	**3 requisito facultativo atendido**	**Total 6 requisitos atendidos**
Atende Satisfatório	3 (100%)	1 (33%)	4 (67%)
Atende Insatisfatório	0	2 (67%)	2 (33%)

Dentre os itens facultativos, o projeto não atendia à flexibilidade, no que se refere a modificações e reformas, assim como no que toca às informações para adequações eventualmente necessárias no edifício.

6. Considerações Finais

A aplicação integral da metodologia de avaliação de sistemas construtivos inovadores do Projeto INOVATEC da FINEP se mostrou fundamental para ajustar os instrumentos propostos e para validar a consistência do método.

Neste capítulo, o método foi apresentado, assim como o estudo de caso em que foi aplicado integralmente. Além disso, o resultado da aplicação de dois instrumentos pré-campo, ou seja, de análise de documentação, foi discutido.

A análise da documentação técnica do projeto e do sistema construtivo demonstra a importância, para qualidade da avaliação técnica, dos ensaios laboratoriais e das avaliações preconizados pelo Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Sistemas Inovadores e Convencionais (SiNAT/PBQP-Habitat), demonstrando o significativo avanço que o SiNAT representa para introdução de inovações no setor de construção civil e também para garantia da qualidade de habitações com sistemas inovadores.

Em geral, o estudo de caso atende aos principais e mais importantes requisitos de desempenho estabelecidos na norma brasileira (ABNT,2013) assim como na Diretriz SiNAT n.º 002 (BRASIL, 2016).

Para um melhor desempenho das fichas de verificação de documentação, serão necessárias adequações que as tornem mais compatíveis com as características do sistema construtivo e, principalmente, com as diferentes tipologias das habitações e do empreendimento.

Quanto às três fichas de avaliação da manutenibilidade, verificou-se que elas cobrem, de forma bem abrangente, as exigências estabelecidas pelas normas, no entanto, cabe aqui uma reflexão, novamente, sobre a adequabilidade dessas fichas à situação mais simples, que é o da unidade habitacional isolada em empreendimento aberto de habitação de interesse social, isto é, sem a organização em forma de condomínio.

É certo que o Manual de Uso, Operação e Manutenção deve conter informações essenciais para a garantia do bom uso da edificação, assim como orientações para operação e manutenção, visando o seu melhor aproveitamento, sem prejuízo à vida útil do conjunto e à segurança dos moradores. Porém, verifica-se a necessidade de ponderar, nas próprias

normas brasileiras, sobre as informações e as exigências (obrigações do proprietário) a serem inseridas nos Manuais do Proprietário e nos Programas de Manutenção, principalmente de empreendimentos mais simples.

No sentido de avanço do SiNAT, a metodologia descrita neste capítulo e nos capítulos a seguir demonstra a importância que Avaliações Pós-Ocupação podem ter no sistema SiNAT para fechar o ciclo avaliativo de novas tecnologias.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS − ABNT. **NBR 15575**: Partes 1 a 5 – Edificações Habitacionais – Desempenho. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS − ABNT. **NBR 5674:** Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão da manutenção. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS − ABNT. **NBR 15220-3:** Desempenho térmico de edificações Parte 3 – Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. **Ministério das Cidades.** Diretrizes para avaliação técnica de produtos, n. 2, rev. 2. Brasília, 2016. Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php>

FABRICIO, M.M.; ONO, R. (Orgs.). **Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras:** Manutenção e Percepção do Usuário. Porto Alegre: ANTAC / Caboverde, 2015. v.1, 159 p. DOI: http://dx.doi.org/10.4322/978-85-89478-42-7

ONO, R. et al. Avaliação Pós-Ocupação: pré-teste de instrumentos para verificação do desempenho de empreendimentos habitacionais em sistema construtivos inovadores. **Gestão & Tecnologia de Projetos.** São Carlos: Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. v. 10. n. 1. 2015a. pp. 64-78. DOI: http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v10i1.88979

ONO, R.; OLIVEIRA, F.L.; ORNSTEIN, S.W.; GALVÃO, W.J.F.; GHOUBAR, K. Procedimentos para a avaliação de desempenho de sistemas construtivos inovadores em uso com vistas ao atendimento à NBR 15575:2013. In: Marcio Minto Fabricio; Rosaria Ono. (Org.). **Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras. 1. ed.** Porto Alegre: ANTAC, 2015b, v. , p. 27-40. DOI: http://dx.doi.org/10.4322/978-85-89478-42-7-04

SANCHES, I.D.; FABRICIO, M.M.; BUZZAR, M.A. Avaliação da manutenibilidade em sistemas construtivos inovadores. In: Márcio Minto Fabricio; Rosaria Ono. (Org.). **Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras. 1. ed.** Porto Alegre: ANTAC, 2015, v. 1, p. 67-87. DOI: http://dx.doi.org/10.4322/978-85-89478-42-7-07

Sites consultados

PLATAFORMA BRASIL. Disponível em: <http://portal2.saude.gov.br/sisnep/Menu_Principal.cfm>. Acesso em: 8 jun. 2015.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-5953-029-2.2017C0009.p.217-258

Avaliação de Desempenho em Uso e Manutenção de Habitações em Sistemas Construtivos Inovadores

9

Rosaria Ono
Mena Cristina Marcolino Mendes
Márcio Minto Fabricio
Sheila Walbe Ornstein
Fabiana Lopes de Oliveira
Lucas Melchiori Pereira

1. Introdução

Este capítulo aborda a aplicação de instrumentos de verificação e avaliação de desempenho da operação, uso e manutenção em campo, desenvolvidos como parte da metodologia para avaliação de sistemas construtivos inovadores, previamente apresentados nos capítulos três (http://dx.doi.org/10.4322/978-85-89478-42-7-04) e seis (http://dx.doi.org/10.4322/978-85-89478-42-7-07) do primeiro volume desta coletânea (FABRICIO; ONO, 2015). A aplicação foi realizada por equipe técnica constituída por três duplas de profissionais de engenharia civil e arquitetura, em um empreendimento habitacional de interesse social de unidades familiares isoladas.

Essa atividade em campo teve como objetivo principal aperfeiçoar e validar tais instrumentos (Figura 1), que compõem parte de um conjunto de instrumentos de avaliação de desempenho para homologação de tecnologias inovadoras, proposto ao SiNAT (Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Sistemas Inovadores e Convencionais) do Ministério das Cidades.

Adicionalmente, a atividade ofereceu a oportunidade de analisar e discutir o desempenho das unidades habitacionais inspecionadas com a aplicação integrada dos instrumentos de aplicação em campo (*in loco*) no estudo de caso.

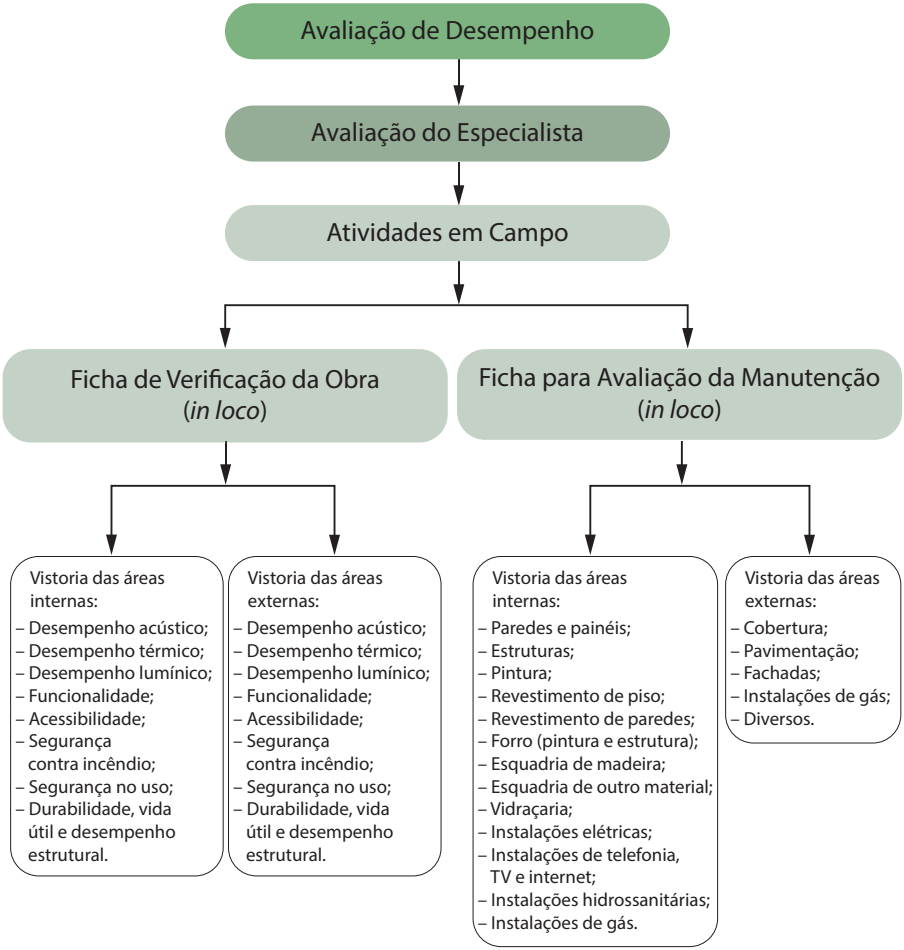


Figura 1. Conjunto de instrumentos propostos e aplicados em campo (*in loco*).

2. Caracterização do Conjunto Habitacional Avaliado e da Aplicação dos Instrumentos em Campo

Os instrumentos de Avaliação Pós-Ocupação (APO) foram aplicados em um conjunto habitacional, cujo projeto iniciou em 2011 e a construção

foi concluída em 2013, em um município de pequeno porte, localizado no interior do estado de São Paulo. Para a análise de desempenho das unidades habitacionais, considerando que essas edificações foram construídas por um único empreendedor, a partir da aplicação de uma única tecnologia inovadora, com produção seriada aplicada a 100% das unidades, nas quais poderão ser identificadas falhas sistemáticas, tanto originárias do projeto como do processo de construção, considerou-se que um número reduzido de amostra seria suficiente para evidenciar essas falhas. Assim, foram avaliadas 19 unidades habitacionais de um total de 336 habitações térreas unifamiliares isoladas.

Cada unidade está disposta em um terreno de aproximadamente 210 m^2 e possui uma área construída de 52,36 m^2, com três dormitórios, sala de estar, cozinha e banheiro. A construção, além das paredes produzidas com a tecnologia avaliada, é composta por uma cobertura de telhas cerâmicas, estruturada com tesouras de madeira; forro de laje pré-moldada; esquadrias de alumínio e folhas das portas de madeira; revestimento cerâmico no piso de todos os ambientes e nas paredes do banheiro. Externamente, foi entregue uma calçada de aproximadamente 1,0 m de largura, circundando a edificação, e próximo à porta de acesso à cozinha, foi disposta uma área descoberta para tanque e para um abrigo para dois botijões de gás (GLP).

Os dados obtidos com a aplicação em campo (*in loco*) dos instrumentos intitulados "Ficha de Verificação da Obra" e "Ficha de Avaliação da Manutenção" são apresentados a seguir. Os levantamentos foram realizados nos dias 12 e 13 de junho de 2015 e alguns dados foram complementados com uma nova ida a campo em 06 de agosto de 2016. As duas seções seguintes caracterizam sinteticamente cada instrumento e comentam os resultados encontrados.

3. Resultados da Aplicação da Ficha de Verificação da Obra

As Fichas de Verificação da Obra averiguam aspectos de desempenho da unidade habitacional que se referem tanto às áreas internas como à área externa. As fichas foram estruturadas a partir de critérios estabelecidos na NBR 15575 (ABNT, 2013), e as respostas devem se enquadrar na seguinte gradação proposta pela metodologia: **A** - Atende, quando o critério analisado

foi atendido na inspeção realizada; **NA** - Não Atende, quando o critério não foi atendido; **NSA** - Não Se Aplica ao caso inspecionado, quando o item for destinado a uma tipologia construtiva diferente; **NV** - Não Verificado, quando não foi possível verificar o item na inspeção realizada.

3.1. Verificação de Áreas Internas

O método proposto, por meio da Ficha de Verificação da Obra, leva, inicialmente, à avaliação de desempenho das áreas internas da edificação. Os itens verificados foram:

- Desempenho acústico e lumínico;
- Funcionalidade;
- Acessibilidade;
- Segurança contra incêndio;
- Segurança no uso;
- Durabilidade, vida útil e segurança estrutural.

O desempenho térmico não faz parte da ficha para verificação de desempenho *em campo*, devido à falta de efetividade de medições realizadas pontualmente, isto é, em um período específico, como seria o caso da medição no dia da aplicação do instrumento em campo.

Quanto à medição do desempenho acústico, a NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece valores mínimos de isolação sonora dos elementos de vedação, mas não os parâmetros de níveis de ruído interno, especificado na NBR 10152 (ABNT, 1992). As medições de isolação sonora podem ser feitas em qualquer horário, desde que não perturbe muito a vizinhança, pois, para tanto, devem ser gerados ruídos de mais de 80 dB durante as medições. No entanto, essa medição não pôde ser realizada no estudo de caso devido à falta de equipamentos adequados e treinamento da equipe técnica para tal atividade.

A medição em campo do desempenho lumínico, por sua vez, foi realizada e verificou o atendimento aos critérios mínimos. Assim como está previsto no critério 13.2.3 da NBR 15575-1 (ABNT, 2013), a determinação do Fator de Luz Diurna foi resultado da relação entre a iluminância medida dentro do ambiente e a iluminância medida fora do ambiente, sem a incidência da luz solar direta sobre os sensores em ambos os casos.

Tabela 1. Verificação de área interna: desempenho lumínico.

Desempenho Lumínico	Requisito	A	NA	NSA	NV
Os dormitórios têm Fator de Luz Diurna igual ou superior a 0,5%	(obrigatório)	17 (100%)	0	0	2
A sala de estar/ jantar tem Fator de Luz Diurna igual ou superior a 0,5%	(obrigatório)	19 (100%)	0	0	0
A cozinha tem Fator de Luz Diurna igual ou superior a 0,5%	(obrigatório)	19 (100%)	0	0	0
Banheiro tem luz natural	(facultativo)	19 (100%)	0	0	0
Todos os dormitórios possuem mecanismos de controle de iluminância integrado aos caixilhos	(facultativo)	18 (100%)	0	0	1

A: Atende ao requisito de desempenho; NA: Não Atende ao requisito de desempenho; NSA: Não se aplica ao empreendimento inspecionado; NV: Não verificado.

Todos os cômodos em que a medição foi realizada atenderam às condições mínimas de desempenho lumínico, sejam elas ligadas a requisitos obrigatórios ou facultativos. Cabe observar que as medições de iluminância foram realizadas sequencialmente, uma vez que não havia condições operacionais para medição simultânea interna e externa. Assim, procedeu-se à medição da iluminância no interior dos cômodos, seguida da medição no exterior, à sombra, para cada unidade habitacional.

A verificação da **Funcionalidade** das áreas internas trata da altura do pé-direito dos ambientes da edificação, adotando como critério alguns valores mínimos, conforme indicados na Tabela 2. Nessa tabela também estão descritos os resultados de cada item da ficha de funcionalidade observados na aplicação em campo.

Tabela 2. Verificação de área interna: funcionalidade.

Funcionalidade	Requisito	A	NA	NSA	NV
Dormitórios e sala têm pé-direito > = 2,50 m	(obrigatório)	19 (100%)	0	0	0
Cozinha e área de serviço tem pé-direito > = 2,50 m	(obrigatório)	19 (100%)	0	0	0
Banheiro tem pé-direito > = 2,30 m	(obrigatório)	19 (100%)	0	0	0

Todos os cômodos atenderam às condições de funcionalidade obrigatórias verificadas, relacionadas ao pé-direito nos cômodos. Entretanto seria recomendável, adicionalmente, incluir a verificação de índices de obstrução, ou seja, das áreas necessárias em cada ambiente para abrigar mobiliário, equipamentos com circulação e espaços para usos seguro e confortável.

A verificação de **Acessibilidade** observa as condições dos vãos livres para circulação em toda a edificação. A Tabela 3 apresenta o item da ficha de verificação da acessibilidade e os resultados da vistoria em campo realizada.

Tabela 3. Verificação de área interna: acessibilidade.

Acessibilidade	Requisito	A	NA	NSA	NV
Todas as portas têm vãos livres > = 80 cm	(facultativo)	3 (16%)	16 (84%)	0	0

Esse requisito único de acessibilidade é facultativo e tem como objetivo verificar a possibilidade de passagem de pessoas com dificuldade de mobilidade, como usuários de cadeiras de rodas. Três das casas inspecionadas eram originalmente acessíveis e apenas elas tinham portas mais largas. Nos demais casos, verificou-se que havia limitações à acessibilidade e que, entre as unidades não designadas como acessíveis, existiam pessoas com mobilidade reduzida.

Os itens da **Segurança contra incêndio** estão relacionados aos dispositivos das instalações de gás, local dos botijões e aos pontos de tomadas. A Tabela 4 apresenta os itens e as frequências encontradas na vistoria de campo. Com relação à instalação de gás, que serve unicamente à alimentação do fogão na cozinha, uma tubulação de cobre embutida nas paredes transporta o gás de botijão, que está num abrigo externo com espaço para dois botijões de 13kg, localizado ao lado do tanque de lavar roupas, até o ponto na cozinha, ao lado da pia. Contudo, embora o projeto esteja em concordância com as especificações exigidas por norma, em muitas das unidades habitacionais inspecionadas foram identificados problemas relacionados a esse subsistema.

Tabela 4. Verificação de área interna: segurança contra incêndio.

Segurança Contra Incêndio	Requisito	A	NA	NSA	NV
Instalações de gás possuem dispositivos de segurança que garantam estanqueidade	(obrigatório)	11 (60%)	8 (42%)	0	0
Não existem botijões de gás dentro da residência	(obrigatório)	5 (26%)	14 (74%)	0	0
Os pontos de tomada elétrica destinados a alimentar mais de um equipamento devem ser providos com quantidade adequada de tomadas, sem "tês" ou benjamins. Este critério deve ser verificado em projeto a fim de investigar se há o atendimento ao número mínimo de tomadas especificado na NBR 5410	(obrigatório)	11 (58%)	8 (42%)	0	0
Componentes elétricos com partes móveis devem ser inspecionados quanto ao estado dos contatos	(facultativo)	19 (100%)	0	0	0

Em 32% dos casos, não havia dispositivos que garantissem a estanqueidade da instalação, como a mangueira flexível apropriada para conexão. Em 74% dos casos, o botijão de gás encontrava-se no interior do ambiente da cozinha, apesar de haver um abrigo adequado para esse elemento na parte externa da unidade. Alguns moradores, quando questionados sobre esse procedimento, alegaram ou ainda queixaram-se da localização projetada para a saída do gás e ligação do fogão, próximo a uma corrente de ar, proporcionada pela porta de acesso externo, que apagava as bocas acesas do fogão. Outros revelaram o receio de furto do botijão deixado no abrigo, que é aberto. O condicionamento de botijões de gás no interior da habitação tem impacto negativo relevante na segurança contra incêndio, pois aumenta o risco do vazamento de GLP no interior da unidade habitacional, gás inflamável que pode causar incêndio, explosão e a intoxicação por inalação. Além disso, há uma grande frequência de uso de "tês" e benjamins nas tomadas elétricas, que podem sobreaquecer e sobrecarregar as instalações elétricas, e eventualmente iniciar incêndios.

A verificação da Segurança no uso contém dois itens obrigatórios, relativos ao piso interno. Como aponta a Tabela 5, apenas a presença indesejável de desníveis acima de 5 mm foi observada em dois casos (10%).

Devido às características observadas em campo, presume-se que essa ocorrência se deva à falha de execução do piso interno, especificamente, no desnível do piso do banheiro.

Tabela 5. Verificação de área interna: segurança no uso.

Segurança no Uso	Requisito	A	NA	NSA	NV
O piso interno não apresenta rugosidade excessiva, arestas contundentes ou fragmentos perfurantes ou contundentes	(obrigatório)	19 (100%)	0	0	0
O acabamento de pisos internos não tem desníveis superiores a 5mm	(obrigatório)	17 (90%)	2 (10%)	0	0

A verificação da **Durabilidade, vida útil e desempenho estrutural** está relacionada ao funcionamento de ralos, à presença de fissuras ou deformações em elementos estruturais, ao descolamento ou exposição de armaduras, aos sinais de umidade, integridade de rejuntamentos e selantes de juntas, ao funcionamento de janelas e à corrosão em peças metálicas. Em relação ao desempenho geral do sistema de vedação analisado, quanto à durabilidade e vida útil, a avaliação foi positiva, como pode ser visto na Tabela 6, em que os casos nos quais os requisitos verificados não foram atendidos não ultrapassam 10% do total. De fato, o maior número de problemas não se relaciona ao sistema, mas sim decorre da inadequação das interfaces com outros componentes e da baixa qualidade deles, como observado nas esquadrias, nos revestimentos cerâmicos e na impermeabilização.

Dentre os itens de durabilidade, vida útil e desempenho estrutural verificados, destacam-se alguns problemas estruturais, como fissuras superiores a 0,6mm (16%) na estrutura, deformação do esquadro suficiente para dificultar o funcionamento de portas e janelas (32%) e fissuras nos elementos de vedação (26%). Além desses casos, também foram apontadas: falta de aderência de revestimentos cerâmicos (10%), sinais de umidade no piso do banheiro (42%) e umidade na base das paredes (21%).

Tabela 6. Verificação de área interna: durabilidade, vida útil e desempenho estrutural.

Durabilidade, Vida Útil e Desempenho Estrutural	Nível de importância	A	NA	NSA	NV
Ralos e grelhas estão limpos e funcionando	(obrigatório)	18 (95%)	1 (5%)	0	0
Os elementos estruturais não apresentam fissuras com aberturas superiores a 0,6 mm.	(obrigatório)	16 (84%)	3 (16%)	0	0
A deformação da estrutura não impede o livre funcionamento de componentes da edificação (portas e janelas) nem repercute no funcionamento das instalações.	(obrigatório)	13 (68%)	6 (32%)	0	0
A estrutura não está proporcionando insegurança aos usuários pelas deformações de quaisquer elementos da edificação.	(obrigatório)	19 (100%)	0	0	0
O sistema estrutural não ocasiona deslocamentos ou fissuras excessivas aos elementos de construção vinculados ao sistema estrutural	(obrigatório)	18 (95%)	1	0	0
Não há descolamento do cobrimento de concreto das armaduras dos elementos estruturais	(obrigatório)	19 (100%)	0	0	0
Não há armadura exposta nos elementos estruturais (vigas, lajes e pilares)	(obrigatório)	19 (100%)	0	0	0
Não há sinais de eflorescência na edificação.	(obrigatório)	18 (95%)	0	1 (5%)	0
Não há fissuras nos elementos de vedação (paredes e ou divisórias)	(obrigatório)	14 (74%)	5 (26%)	0	0
Os elementos estruturais de vedação, em que há peças suspensas, não apresentam fissuras, deslocamentos horizontais e lascamentos, ou ainda, arrancamento dos dispositivos de fixação nem seu esmagamento.	(obrigatório)	16 (84%)	0	3 (16%)	0
Os revestimentos das vedações não apresentam falta de aderência com o substrato	(obrigatório)	17 (89%)	2 (11%)	0	0
Não há sinais de umidade nos pisos da edificação.	(obrigatório)	11 (58%)	8 (42%)	0	0
Não há sinais de umidade na base das paredes.	(obrigatório)	15 (79%)	4 (21%)	0	0
Há integridade nos rejuntamentos internos dos pisos, paredes, peitoris, soleiras, ralos, peças sanitárias, bordas de banheiras e outros elementos.	(obrigatório)	18 (95%)	1 (5%)	0	0

Tabela 6. Continuação.

Durabilidade, Vida Útil e Desempenho Estrutural	Nível de importância	A	NA	NSA	NV
Há integridade dos selantes das juntas entre os painéis estruturais	(obrigatório)	19 (100%)	0	0	0
Não há sinais visíveis de corrosão na ligação metálica dos painéis.	(obrigatório)	19 (100%)	0	0	0

A **avaliação geral das áreas internas** corresponde ao balanço dos requisitos obrigatórios e facultativos atendidos e não atendidos relativos aos itens de verificação, relacionados direta ou indiretamente ao desempenho das áreas internas das edificações vistoriadas. O quadro geral desse balanço, apresentado na Tabela 7, quantifica e classifica os itens analisados por tipo de requisito de desempenho e tipo de exigência de atendimento.

Tabela 7. Quadro geral de avaliação das áreas internas.

Desempenho lumínico	A	NA	NSA	NV
Obrigatórios	55 (100%)	0	0	2
Facultativos	37 (100%)	0	0	1
Funcionalidade	**A**	**NA**	**NSA**	**NV**
Obrigatórios	57 (100%)	0	0	0
Acessibilidade	**A**	**NA**	**NSA**	**NV**
Facultativos	3 (16%)	16 (84%)	0	0
Segurança contra incêndio	**A**	**NA**	**NSA**	**NV**
Obrigatórios	27 (47%)	28 (50%)	2 (3%)	0
Facultativos	19 (100%)	0	0	0
Segurança no uso	**A**	**NA**	**NSA**	**NV**
Obrigatórios	36 (95%)	2 (5%)	0	0
Vida útil, durabilidade e desempenho estrutural	**A**	**NA**	**NSA**	**NV**
Obrigatórios	266 (88%)	31 (10%)	4 (1%)	3

Dos requisitos verificados, as situações mais críticas observadas estão relacionadas às exigências de atendimento obrigatório em segurança contra incêndio, com problemas nas instalações de gás e nas instalações elétricas, e à exigência facultativa de acessibilidade, relacionada à largura das portas nas casas que, a princípio, não seriam designadas para pessoas com dificuldade de mobilidade, mas eventualmente o são. Nos demais requisitos, a avaliação foi satisfatória. No entanto, verificou-se, nos requisitos de "vida útil, durabilidade e desempenho estrutural", alguns problemas construtivos nas paredes e pisos, relacionados principalmente a interfaces com os demais componentes e com a execução, que prejudicaram o desempenho geral das unidades no quesito em questão.

Cabe ressaltar que, para atender a necessidade de uma avaliação integrada, os requisitos de desempenho até aqui verificados precisam ser complementados pelos resultados obtidos na análise das documentações (Capítulo 8), no questionário ao morador (Capítulo 10) e na avaliação da manutenibilidade, apresentada ainda neste capítulo, na seção 4.

3.2. Verificação de Áreas Externas

Além da verificação de desempenho das áreas internas, o instrumento ainda inclui a análise das áreas externas à edificação, que se aplicam principalmente a casos de edifícios multifamiliares que se organizam em forma de condomínio e possuem áreas de uso comum. Assim, a aplicabilidade desses itens e a abrangência da avaliação são reduzidas no caso em que o empreendimento apresenta unidades unifamiliares isoladas.

Outra limitação para o preenchimento das fichas decorreu da orientação para se considerar apenas a verificação das condições de elementos e sistemas que foram entregues, ou seja, que constam do projeto e foram implementados no empreendimento pela companhia estadual e a prefeitura municipal. Assim, problemas resultantes de intervenções dos moradores foram descricionados e considerados na análise dos resultados, porém, não foram contabilizados.

Os requisitos de **desempenho ambiental e funcionalidade** não possuem fichas com aspectos a serem verificados nas áreas externas ou comuns. Os demais itens como acessibilidade, segurança contra incêndio, segurança no uso, durabilidade, vida útil e desempenho estrutural foram verificados, e os resultados são apresentados nas Tabelas 8 a 12.

A verificação da **acessibilidade das áreas externas** evidenciou a inadequação do formulário proposto para as situações de unidades habitacionais unifamiliares isoladas ou geminadas, o que dificultou uma análise quantitativa de vários requisitos específicos não relacionados a áreas comuns. Todavia, dois itens puderam ser verificados, como demonstra a Tabela 8. Observou-se que 47% das unidades apresentam soleiras com desníveis superiores a 5 mm em seu acesso para o interior da edificação.

Tabela 8. Verificação da área externa: acessibilidade.

Acessibilidade	Requisito	A	NA	NSA	NV
Todos os vãos de passagem da rua até as portas da unidade têm largura igual ou superior a 0,8 m	(obrigatório)	18 (95%)	1 (5%)	0	0
Soleiras têm desnível igual ou inferior a 5mm no acesso do interior às áreas comuns	(obrigatório)	0	0	19 (100%)	0
Soleiras têm desnível igual ou inferior a 5mm no acesso do exterior às áreas comuns	(obrigatório)	0	0	19 (100%)	0
Soleiras têm desnível igual ou inferior a 5mm no acesso às áreas comuns	(facultativo)	0	0	19 (100%)	0
Soleiras têm desnível igual ou inferior a 5mm no acesso às unidades habitacionais	(facultativo)	0	19 (100%)	0	0

Para realizar a verificação da passagem da rua até a porta da unidade habitacional, considerou-se a largura do caminho entre a calçada e a entrada da unidade habitacional. Esse item não foi atendido em um caso, devido a intervenções realizadas pelo morador no interior do lote. No projeto, o desnível entre o piso interno da unidade e o piso externo do *radier* é de, no mínimo, 20mm, e a medição realizada na vistoria confirma o não atendimento ao último item da ficha.

No caso dos requisitos relacionados à **Segurança contra Incêndio**, compreendeu-se que eles não eram aplicáveis ao estudo em questão, pois se tratam de observações para as áreas de uso comum, como pode ser visto na Tabela 9.

Tabela 9. Verificação de área externa: segurança contra Incêndio.

Segurança contra incêndio	Requisito	A	NA	NSA	NV
Corredores e escadas não têm obstruções e reduções na largura efetiva.	(obrigatório)	0	0	19 (100%)	0
As escadas têm corrimãos adequados (contínuos e com altura de 92 cm).	(obrigatório)	0	0	19 (100%)	0
Os extintores, hidrantes e alarmes estão devidamente sinalizados.	(obrigatório)	0	0	19 (100%)	0
Locais de risco, como cabines de força e centrais de gás, estão devidamente sinalizados.	(obrigatório)	0	0	19 (100%)	0
Há uma luminária de emergência a cada 7,5 m de raio e todas funcionam.	(obrigatório)	0	0	19 (100%)	0
Extintores portáteis – Instalação					
A alça de manuseio está, no máximo, a 1,60 m do piso acabado e a parte inferior está acima de 10 cm do piso acabado.	(obrigatório)	0	0	19 (100%)	0
Está visível e não obstruído.	(obrigatório)	0	0	19 (100%)	0
Está protegido de intempéries e danos físicos em potencial.	(obrigatório)	0	0	19 (100%)	0
É fácil remover do suporte.	(obrigatório)	0	0	19 (100%)	0
Não está instalado em escadas.	(obrigatório)	0	0	19 (100%)	0
Extintores portáteis - Distribuição					
Classe A: distância máxima entre extintores é de 25 m.	(obrigatório)	0	0	19 (100%)	0
Classes BC: a distância máxima entre extintores é de 15 m.	(obrigatório)	0	0	19 (100%)	0
Hidrantes ou mangotinhos e seus acessórios: mangueiras e seus abrigos; esguichos, bombas e registro de recalque estão em boas condições visuais e os pontos de hidrantes e/ou mangotinhos estão montados com todos os materiais e acessórios previstos e totalmente desobstruídos.	(obrigatório)	0	0	19 (100%)	0

Novamente, como pode ser visto na Tabela 10, a maioria dos requisitos relacionados à Segurança no uso não são aplicáveis (NSA) ao levantamento realizado em unidades habitacionais isoladas, pois os itens da ficha são orientados para avaliação de edifícios habitacionais multifamiliares.

Tabela 10. Verificação de área externa: segurança no uso.

Segurança no Uso	Requisito	A	NA	NSA	NV
O piso externo não tem desníveis superiores a 5mm e frestas superiores a 4 mm.	(obrigatório)	18 (95%)	1 (5%)	0	0
O piso externo não apresenta rugosidade excessiva ou arestas contundentes que tornem impraticável o apoio direto dos pés desnudos ou possam ocasionar lesões.	(obrigatório)	19 (100%)	0	0	0
Pisos e espelhos das escadas têm dimensões constantes em toda a escada.	(obrigatório)		0	19 (100%)	0
O SPDA apresenta integridade da captação ao aterramento.	(obrigatório)	0	0	19 (100%)	0
A altura mínima de guarda-corpos, considerada entre o piso acabado e a parte superior do peitoril, é de 15 m ou 1,30 m, conforme situação.	(obrigatório)	0	0	19 (100%)	0
A distância entre perfis do gradil de guarda-corpos (vão de luz) é menor ou igual a 11 cm.	(obrigatório)	0	0	19 (100%)	0

Apenas dois itens, relativos à condição do piso externo, puderam ser avaliados. Nestes, o piso do *radier*, construído ao redor de toda casa com largura de 1,0 m, apresentou, em uma das amostras, frestas maiores que as admissíveis.

Na avaliação da **Durabilidade, vida útil e desempenho estrutural**, alguns itens não foram verificados (NV) em todos os casos, em função de circunstâncias específicas do trabalho de campo, que impediram o levantamento pelos pesquisadores.

Quanto ao preenchimento da ficha, houve uma discussão em relação à necessidade de adequabilidade dos itens nela contidos, visando à uniformização da compreensão do seu conteúdo, em função de particularidades do sistema construtivo, como observadas no caso estudado, em que o sistema de vedação faz parte do sistema estrutural (Tabela 11).

O primeiro item dessa ficha (Tabela 11) trata do funcionamento de ralos, grelhas e canaletas. Como o projeto do empreendimento não previa, em nenhum caso, tais recursos para drenagem de água no interior dos lotes, todos foram identificados como não se aplica (NSA). Contudo, cabe observar a existência de residências com algum desses elementos, decorrentes de alterações realizadas por moradores.

Tabela 11. Verificação de área externa: durabilidade, vida útil e desempenho estrutural.

Durabilidade, Vida Útil e Desempenho Estrutural	Requisito	A	NA	NSA	NV
Ralos, grelhas, calhas e canaletas estão limpos e funcionando.	(obrigatório)	0	0	18 (100%)	1
Há integridade estrutural dos componentes, vedações e fixações da cobertura.	(obrigatório)	16 (94%)	1 (6%)	0	2
Os elementos estruturais não apresentam fissuras com aberturas superiores a 0.6 mm.	(obrigatório)	15 (88%)	2 (12%)	0	2
A estrutura não está proporcionando insegurança aos usuários pelas deformações de quaisquer elementos da edificação.	(obrigatório)	18 (100%)	0	0	1
O sistema estrutural não ocasiona deslocamentos ou fissuras excessivas aos elementos de construção vinculados.	(obrigatório)	17 (100%)	0	0	2
Não há fissura no encontro laje de piso ou calçadas laterais e parede no pavimento térreo (quando este não for pilotis).	(obrigatório)	15 (88%)	2 (12%)	0	2
Não há descolamento do cobrimento de concreto das armaduras dos elementos estruturais.	(obrigatório)	17 (94%)	1 (6%)	0	1
Não há armadura exposta nos elementos estruturais (vigas, lajes e pilares).	(obrigatório)	18 (100%)	0	0	1
Não há fissuras nos elementos de vedação (paredes e/ou divisórias, muros).	(obrigatório)	13 (76%)	4 (24%)	0	2
Os revestimentos das vedações não apresentam falta de aderência com o substrato.	(obrigatório)	13 (76%)	4 (24%)	0	2
Não há sinais de umidade nos pisos da edificação.	(obrigatório)	13 (76%)	4 (24%)	0	2
Não há sinais de umidades na base das paredes.	(obrigatório)	13 (72%)	5 (28%)	0	1
Não há sinais de infiltração ou falhas de impermeabilização nas áreas molhadas externas, piscinas, reservatórios, coberturas, jardins, espelhos d´água.	(obrigatório)	15 (88%)	2 (12%)	0	2
Há integridade nos rejuntamentos externos de pisos, paredes, peitoris, soleiras, ralos e outros elementos.	(obrigatório)	14 (82%)	3 (18%)	0	2
Há integridade dos selantes das juntas entre os painéis estruturais.	(obrigatório)	17 (100%)	0	0	2
Não há sinais visíveis de corrosão na ligação metálica dos painéis.	(obrigatório)	17 (100%)	0	0	2

A Tabela 12 apresenta os resultados da **avaliação geral das áreas externas**, com as frequências do atendimento ou não aos itens de desempenho que constam das fichas de verificação.

Tabela 12. Quadro geral da avaliação das áreas externas.

Acessibilidade	**A**	**NA**	**NSA**	**NV**
Obrigatórios	18 (32%)	1 (2%)	38 (67%)	0
Facultativos	0	19 (50%)	19 (50%)	0
Segurança contra incêndio	**A**	**NA**	**NSA**	**NV**
Obrigatórios	0	0	247 (100%)	0
Segurança no uso	**A**	**NA**	**NSA**	**NV**
Obrigatórios	37 (32%)	01 (1%)	76 (67%)	0
Vida útil, Durabilidade e Desempenho Estrutural	**A**	**NA**	**NSA**	**NV**
Obrigatório	231 (83%)	28 (10%)	18 (6%)	27

A frequência de "NSA" (não se aplica) evidencia a necessidade de adequar as fichas de verificação ao caso estudado, considerando as características do empreendimento, assim como as características do sistema construtivo empregado.

Em geral, ao se desconsiderar a frequência de NSA, é possível verificar que o nível de atendimento é alto.

4. Resultados da Aplicação das Fichas de Avaliação da Manutenção

Diferentes das Fichas de Verificação da Obra, as Fichas de Avaliação da Manutenção das áreas internas da unidade habitacional abordam subsistemas e componentes específicos do edifício, abrangendo: Paredes/painéis de vedação; Estruturas; Pintura; Revestimento de piso; Revestimento de parede; Forro (pintura e estrutura); Esquadrias de madeira; Esquadrias (outros materiais possíveis); Vidraçaria; Instalações elétricas; Instalações de telefonia, televisão e internet; Instalações hidrossanitárias; e Instalações de gás.

A Ficha de Avaliação da Manutenção das áreas externas da unidade habitacional, por sua vez, se destina principalmente a situação de edificações multifamiliares e seguem o mesmo princípio de organização das fichas para áreas internas, considerando aspectos físicos, como Cobertura; Pavimentação (calçadas e acessos internos ao lote); Fachadas; Instalações de gás; Diversos: caixa d'água, caixa de gordura, para-raios e aterramentos SPDA.

A avaliação das dezenove unidades habitacionais envolveu uma análise mais aprofundada das unidades que apresentaram a incidência de não atendimento aos requisitos superior a 16% do total, uma situação que ocorreu ao menos em três das unidades habitacionais. Assim, nos casos de não atendimento, os itens verificados também foram classificados segundo o risco que isso apresentaria à edificação.

As condições para determinar se o risco é Mínimo, Regular e Crítico são listadas a seguir:

- Mínimo: **impacto recuperável**. Anomalias endógenas ou falhas de manutenção encontradas são causadas por pequenas perdas de desempenho e funcionalidade, sem a probabilidade de ocorrência de riscos relativos a impactos irrecuperáveis e parcialmente recuperáveis, afetando principalmente a estética ou atividades programáveis e planejadas (IBAPE, 2009).
- Regular: **impacto parcialmente recuperável**. Anomalias endógenas e falhas de manutenção encontradas provocam perda parcial de desempenho e funcionalidade da edificação sem prejuízo à operação direta de sistemas (IBAPE, 2009). Intervenções para recuperação de desempenho são possíveis;
- Crítico: **impacto irrecuperável**. As anomalias endógenas e falhas de manutenção encontradas são irrecuperáveis no que diz respeito ao desempenho do sistema construtivo ou das instalações ou da estrutura da edificação, comprometendo segurança, causando possíveis paralisações e comprometimento sensível da vida útil (Adaptado de IBAPE, 2009);

Além disso, a parte final de todas as fichas apresenta um campo de preenchimento referente ao estado geral de manutenção, que pode ser classificado como ótimo, normal, deficiente, inexistente, não se aplica ou não verificado, segundo as definições a seguir:

- **Ótimo**: manutenção executada segundo as instruções de manuais e planos de manutenção, mantendo o desempenho e contendo espaço seguro para melhorias, modificações e ampliações;

- **Normal**: manutenção executada segundo instruções de manuais e planos de manutenção de forma eficiente, mantendo o desempenho;
- **Deficiente**: manutenção executada parcialmente segundo instruções de manuais e planos de manutenção, podendo haver queda no desempenho;
- **Inexistente**: manutenção não realizada.
- **Não se aplica/não verificado**: quando o indicador objeto da questão inexiste na unidade ou edifício avaliado, ou quando não foram aplicados os métodos necessários para verificação do indicador objeto da questão.

4.1. Verificação de Áreas Internas

A Verificação das áreas internas da edificação inicia-se pelas condições das paredes e painéis de vedação, estruturas, revestimentos, forro, esquadrias e instalações.

Nas **paredes e painéis de vedação,** foi verificada a existência de fissuras, deformações, sinais de infiltração e ortogonalidade. As fissuras existentes nas unidades eram menores ou iguais aos valores estipulados como aceitáveis em 89% dos casos. As paredes não apresentam deformações ou desaprumos (Tabela 13), porém observou-se uma frequência significativa de paredes com sinais de infiltrações e manchas (26%), como exemplificado nas Figuras 2 e 3.

Tabela 13. Avaliação de paredes e painéis de vedação.

Paredes/Painéis de Vedação	A	NA	NSA	NV
As fissuras existentes são menores ou iguais aos valores estipulados (n = 19)	17 (89%)	2 (11%)	0	0
Paredes sem deformações e desaprumos (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Paredes sem sinais de infiltração e manchas (n = 19)	14 (74%)	5 (26%)	0	0
Ortogonalidade de cantos (n = 17)	17 (100%)	0	0	0

Figura 2. Exemplo de sinais de manchas em cozinha, grau de risco regular.

Figura 3. Exemplo de sinais de infiltração em cozinha, grau de risco crítico.

As paredes e painéis de vedação apresentaram um estado de conservação Normal em 84% dos casos ou Deficiente em 16%. Sinais de infiltrações ou manchas nas paredes das cozinhas, semelhantes aos apresentados nas figuras acima, foram detectados em cinco casos (26%) e receberam uma classificação de grau de risco regular e crítico. No caso da Figura 3, a avaria foi claramente causada por vazamento na tubulação de abastecimento de água do tanque.

A verificação das **estruturas** ocorre por meio da observação de fissuras, manchas de corrosão, deformações, descolamentos do recobrimento, exposição de armaduras, infiltrações e eflorescências (Tabela 14). Fora os sinais de infiltração, com incidência de 11%, os demais itens foram completamente atendidos.

Cabe destacar que, no caso apresentado, a estrutura e a vedação vertical compõem um único sistema, pois as paredes são estruturais. Tal particularidade aponta a necessidade de flexibilização dessa parte do instrumento para adequá-lo às características particulares dos sistemas e, assim, melhorar o desempenho das atividades de campo e da análise dos dados coletados.

Tabela 14. Avaliação de estruturas.

Estruturas	A	NA	NSA	NV
As fissuras são menores ou iguais aos valores máximos estipulados (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Não há manchas de corrosão e oxidação (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Não há deformações (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Não há descolamentos do recobrimento (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Não há armaduras expostas (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Não há sinais de infiltração e manchas (n = 19)	17 (89%)	2 (11%)	0	0
Não há eflorescências (n = 19)	19 (100%)	0	0	0

O estado de conservação da estrutura foi avaliado como Ótimo (5%), Normal (90%) e Deficiente (5%), sendo os casos deficientes relacionados aos sinais de infiltração e manchas.

No caso da **pintura,** verificou-se a presença de fungos ou mofo, fissuras, bolhas, desgastes, descascamentos e sinais de infiltração. Constatou-se um alto grau de atendimentos relacionados a não presença de fissuras e de bolha (100%) e ao não descascamento (84%) (Tabela 15). Já os itens que apresentaram problemas consideráveis (não atendimento acima dos 17%) relacionam-se à presença de fungos ou mofo oriundos de umidade, observados em 21% dos casos com grau de risco mínimo, desgastes (37% e grau de risco mínimo) e dos sinais de infiltração (21% e grau de risco regular).

Tabela 15. Avaliação de pinturas.

Pintura	A	NA	NSA	NV
Não há presença de fungos ou mofo oriundos de umidade excessiva ou infiltrações (n = 19)	15 (79%)	4 (21%)	0	0
Não há fissuras (n = 18)	18 (100%)	0	0	0
Não há bolhas (n = 18)	18 (100%)	0	0	0
Não há desgastes (n = 19)	12 (63%)	7 (37%)	0	0
Não há descascamento (n = 19)	16 (84%)	3 (16%)	0	0
Não há sinais de infiltração ou manchas (n = 19)	15 (79%)	4 (21%)	0	0

O estado de conservação da pintura foi avaliado como Normal (58%) e Deficiente (42%), sendo os casos mais significativos, aqueles relativos a desgastes na pintura e sinais de infiltração em sala, cozinha e dormitório.

Os **revestimentos de piso** (Tabela 16) não apresentaram mofo oriundo de infiltrações em 95% dos casos, não se observou caso de fissuras nem descascamento em 100% dos casos e a ausência de descolamentos chegou a 94% dos casos. Os resultados não satisfatórios, ilustrado pelas Figuras 4 e 5, referem-se à presença de desgastes (37%) e sinais de infiltração (58%).

Tabela 16. Avaliação de revestimentos de piso.

Revestimentos de Piso	A	NA	NSA	NV
Não há presença de fungos ou mofo oriundos de umidade excessiva ou infiltrações (n = 19)	18 (95%)	1 (5%)	0	0
Não há fissuras (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Não há desgastes (n = 19)	12 (63%)	7 (37%)	0	0
Não há descascamento (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Não há descolamentos ou desplacamentos (n = 17)	16 (94%)	1 (6%)	0	0
Não há sinais de infiltração ou manchas (n = 19)	8 (42%)	11 (58%)	0	0

Os casos de desgaste são frequentes no banheiro, principalmente no box, e na cozinha, sobretudo nos locais de maior fluxo como as portas e na área da pia, apresentando graus de risco mínimo e regular. Os sinais de infiltração ou manchas no piso ocorreram no banheiro, identificados como risco mínimo e regular, e na cozinha, com risco mínimo.

Figura 4. Exemplo de sinais de infiltração e manchas no piso de banheiro, grau de risco mínimo.

Figura 5. Exemplo de sinais de infiltração e manchas no piso do banheiro, grau de risco regular.

O estado de conservação do revestimento de piso foi considerado Ótimo (5%), Normal (63%) e Deficiente (32%), uma vez que que estes se relacionam com maior frequência aos sinais de infiltração ou manchas no piso da cozinha, com grau de risco mínimo, e de banheiros (box), com grau de risco mínimo e regular.

A inspeção dos **revestimentos de parede** verificou que não havia presença de mofo oriundo de infiltrações, fissuras, desgastes e descascamento, nem descolamentos em, no mínimo, 89% dos casos. Já os sinais de infiltração ou mancha foram encontrados em 32% dos casos (Tabela 17), sendo os mais frequentes identificados nos banheiros, sobretudo na área do box, abaixo de 1,50 m de altura (grau de risco mínimo e regular).

Tabela 17. Avaliação de revestimentos de parede.

Revestimentos de Parede	A	NA	NSA	NV
Não há presença de fungos ou mofo oriundos de umidade excessiva ou infiltrações (n = 19)	18 (95%)	1 (5%)	0	0
Não há fissuras (n = 19)	18 (95%)	1 (5%)	0	0
Não há desgastes (n = 19)	18 (95%)	1 (5%)	0	0
Não há descascamento (n = 19)	17 (95%)	2 (5%)	0	0
Não há descolamentos ou desplacamentos (n = 19)	13 (89%)	6 (11%)	0	0

O estado de conservação do revestimento das paredes foi avaliado como Normal em 74% dos casos e Deficiente em 26% dos casos.

Na verificação dos itens do **forro (pintura e estrutura),** verificou-se a presença de fissuras, fungos ou mofo, deformações, sinais de infiltração ou manchas, bolhas, descascamento ou partes faltantes. Os resultados relacionados ao forro (pintura e estrutura) são 100% satisfatórios em relação às fissuras (Tabela 18), à presença de mofo oriundo de infiltrações, às partes faltantes, a bolhas e descascamentos. Não há presença de deformações em 95% dos casos.

Tabela 18. Avaliação de forros.

Forro (pintura e estrutura)	A	NA	NSA	NV
As fissuras são menores ou iguais aos valores máximos estipulados (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Não há presença de fungos ou mofo oriundos de umidade excessiva ou infiltrações (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Não há deformações no forro (n = 19)	18 (95%)	1 (5%)	0	0
Não há sinais de infiltração ou manchas de umidade no forro (n = 19)	14 (74%)	5 (26%)	0	0
Não faltam partes do forro (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Não há bolhas no forro (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Não há descascamento no forro (n = 19)	19 (100%)	0	0	0

O estado de conservação do forro (pintura e estrutura) foi considerado como Ótimo (11%) e Normal (89%). Não há situações deficientes. Existem sinais de infiltração ou manchas no forro da sala e dormitório com grau de risco mínimo.

Nos itens relacionados às **esquadrias de madeira,** verificou-se a presença de apodrecimento, descolamento, empenamentos, mau funcionamento, desgastes excessivos, sinais de infiltração, facilidade de acesso para limpeza, caimento de peitoril, pingadeira e calafetação. As esquadrias em madeira estão presentes apenas nas portas internas.

As esquadrias estão funcionando (89%), não faltam partes ou peças (95%) e há facilidade de acesso, com segurança para manutenção e limpeza (89%). No entanto, há desgaste excessivo (16%) das esquadrias (Tabela 19).

Tabela 19. Avaliação de esquadrias de madeira.

Esquadrias de Madeira	A	NA	NSA	NV
Não há apodrecimento das esquadrias (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Não há descolamento das esquadrias (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Não há empenamentos das esquadrias (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Esquadrias funcionando corretamente (n = 19)	17 (89%)	2 (11%)	0	0
Não faltam partes ou peças das esquadrias (n = 19)	18 (95%)	1 (5%)	0	0
Não há desgastes excessivos nas esquadrias (n = 19)	16 (84%)	3 (16%)	0	0
Não há sinais de infiltração e manchas nas esquadrias (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Há facilidade de acesso com segurança para manutenção e limpeza (n = 19)	17 (89%)	2 (11%)	0	0
O peitoril apresenta caimento para o lado externo de ambiente (n = 19)	0	0	19 (100%)	0
Existe pingadeira (n = 19)	0	0	19 (100%)	0
Calafetação: verificar a interface esquadria - vão (n = 12)	12 (100%)	0	0	7

A avaliação do estado de conservação referente às esquadrias de madeira foi considerada Normal (84%) e Deficiente (16%). Os casos deficientes são decorrentes de desgaste excessivo nas esquadrias de madeira do banheiro e dormitório, com grau de risco regular.

Os itens verificados relacionados às **esquadrias de alumínio** dizem respeito à corrosão, deformações, desgastes, mau funcionamento, sinais de infiltração, partes faltantes, facilidade de acesso, caimento do peitoril, pingadeira e calafetação. As esquadrias de alumínio estão presentes nas portas externas (sala e cozinha) e nas janelas das unidades habitacionais. As esquadrias de alumínio tiveram os itens "caimento do peitoril" e "pingadeira" atendidos em 100% dos casos (Tabela 20). Os demais itens atendidos foram: não há corrosão (89%), não faltam parte ou peças (95%), não há sinais de infiltração (89%) e há facilidade de acesso com segurança para manutenção e limpeza (84%).

Os itens não atendidos são em relação a deformações (47%), desgastes excessivos (32%), funcionamento correto das esquadrias (53%), e calafetação (33%).

Tabela 20. Avaliação de esquadrias de alumínio.

Esquadrias de alumínio	A	NA	NSA	NV
Não há corrosão nas esquadrias (n = 19)	17 (89%)	2 (11%)	0	0
Não há deformações nas esquadrias (n = 19)	10 (53%)	9 (47%)	0	0
Não há desgastes excessivos nas esquadrias (n = 19)	13 (68%)	6 (32%)	0	0
Esquadrias funcionando corretamente (n = 19)	9 (47%)	10 (53%)	0	0
Não faltam partes ou peças das esquadrias (n = 19)	18 (95%)	1 (5%)	0	0
Não há sinais de infiltração e manchas (n = 19)	17 (89%)	2 (11%)	0	0
Há facilidade de acesso com segurança para manutenção e limpeza (n = 19)	16 (84%)	3 (16%)	0	0
O peitoril apresenta caimento para o lado externo do ambiente (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Existe pingadeira (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Calafetação: verificar a interface esquadria-vão (n = 16)	10 (63%)	5 (33%)	1 (1%)	3

Os casos com deformações nas esquadrias estão presentes nas janelas da sala e cozinha (grau de risco mínimo e regular), janela de dormitório (grau de risco regular e crítico) e em portas da sala e cozinha (grau de risco regular). Os desgastes excessivos nas esquadrias de alumínio estão presentes no dormitório (grau de risco regular e crítico). Os casos de funcionamento incorreto foram identificados em cozinha (grau de risco mínimo e regular), sala (grau de risco mínimo e crítico) e dormitório (regular e crítico) (Figura 6). Os casos de calafetação (interface janela e vão) que não atendem às exigências foram encontrados em cozinhas (grau de risco mínimo) e dormitórios (grau de risco mínimo e regular).

Figura 6. Deformações nas esquadrias de alumínio de salas de estar que dificultam sua plena abertura, Grau de risco crítico.

A conservação das esquadrias de alumínio foi avaliada como: Ótimo (5%), Normal (42%) e Deficiente (53%). Os casos deficientes estão relacionados às deformações, desgastes e ao mau funcionamento das esquadrias de alumínio.

Na **vidraçaria,** foram observadas a presença de trincas, partes soltas ou faltantes e facilidade de acesso para limpeza. Na verificação dos vidros, foram atendidos os seguintes itens: não há trincas (84%) e facilidade de acesso com segurança (100%), Tabela 21. Os itens não atendidos foram: partes soltas (26%) e partes faltantes (28%).

Tabela 21. Avaliação da vidraçaria.

Vidraçaria	A	NA	NSA	NV
Não há trincas (n = 19)	16 (84%)	3 (16%)	0	0
Não há partes soltas (n = 19)	14 (74%)	5 (26%)	0	0
Não há partes faltantes ou quebradas (n = 18)	13 (2%)	5 (28%)	0	1
Há facilidade de acesso com segurança para manutenção e limpeza (n = 18)	18 (100%)	0	0	1

As partes faltantes ou quebradas em vidraçaria foram verificadas na cozinha (grau de risco regular), sala (grau de risco regular), banheiro (grau de risco crítico) e dormitório (grau de risco crítico).

A conservação dos vidros foi avaliada como Ótima (5%), Normal (63%) e Deficiente (32%). Os itens deficientes estão relacionados à presença de trincas, partes soltas e faltantes.

As **instalações elétricas** foram inspecionadas em relação à presença de peças defeituosas, quadro de distribuição, dispositivos de acionamento, uso de benjamins, fiação aparente e facilidade de acesso para limpeza. Os itens das instalações elétricas que atenderam à inspeção (Tabela 22) foram: não há sinais de infiltração (100%), quadro de distribuição possui disjuntores (95%), dispositivo de acionamento está funcionando (92%), facilidade de acesso com segurança para manutenção e limpeza (95%) e há identificação do quadro de distribuição (89%).

Tabela 22. Avaliação de instalações elétricas.

Instalações Elétricas	A	NA	NSA	NV
Não há peças defeituosas (n = 19)	15 (79%)	4 (21%)	0	0
Quadro de distribuição com todos os disjuntores (n = 19)	18 (95%)	1 (5%)	0	0
Dispositivos de acionamento estão funcionando (n = 13)	12 (92%)	1 (8%)	0	6
Não há tomadas de piso sem tampa (n = 0)	0	0	19 (100%)	0
Não há uso de benjamins e réguas (n = 19)	3 (16%)	16 (84%)	0	0
Não há fiação aparente (n = 19)	13 (68%)	6 (32%)	0	0
Não há sinais de infiltração (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Há facilidade de acesso com segurança para manutenção e limpeza e inspeção (n = 19)	18 (95%)	1 (5%)	0	0
O quadro de distribuição está identificado (n = 19)	17 (89%)	2 (11%)	0	0

Os itens não atendidos foram: há peças e componentes defeituosos (21%), há uso de benjamins e réguas (84%) e há presença de fiação aparente (32%).

As instalações elétricas com peças defeituosas foram verificadas na sala (grau de risco mínimo e crítico), dormitório (grau de risco mínimo) e cozinha (grau de risco regular).

Figura 7. Exemplo de instalações elétricas – uso de benjamins e réguas em cozinhas, grau de risco mínimo.

O uso de benjamins e réguas foi encontrado na sala de estar (risco mínimo e crítico), no dormitório (grau de risco crítico) e na cozinha (grau de risco mínimo, regular e crítico), Figura 7. O estado de conservação das instalações elétricas foi avaliado como ótimo em 5% dos casos, Normal (58% dos casos) e Deficiente (37% dos casos).

As **instalações de telefonia, TV e internet** foram avaliadas de acordo com a presença das peças defeituosas, aquecimento nas instalações, funcionamento das instalações, presença de tomadas, fiação aparente, sinais de infiltração e facilidade de acesso para manutenção e limpeza. A maioria dos itens da avaliação das instalações de telefonia, TV e internet atendem aos itens verificados (Tabela 23). As fiações aparentes (74% dos casos) são inevitáveis nesse caso, pois correspondem àquelas que conectam os equipamentos à rede e, nem sempre, são as energizadas.

Tabela 23. Avaliação das instalações de telefonia, TV e internet.

Instalações de Telefonia, TV e Internet	A	NA	NSA	NV
Não há peças defeituosas (n = 18)	18 (100%)	0	0	1
Não há aquecimento nas instalações (n = 18)	18 (100%)	0	0	1
Instalações estão funcionando (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Não há tomadas de piso sem tampa (n = 0)	0	0	19 (100%)	0
Não há fiação aparente (n = 19)	14 (74%)	05 (26%)	0	0
Não há sinais de infiltração (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Há facilidade de acesso com segurança para a manutenção e limpeza (n = 19)	19 (100%)	0	0	0

O estado de conservação das instalações telefônicas, de TV e internet foi avaliado em Ótimo (5%), Normal (90%) e Deficiente (5%).

Detectou-se a execução de furos em telhado para passagem de antenas, sem a devida instrução e procedimento de estanqueidade, permitindo eventuais infiltrações de águas de chuvas.

No projeto de instalações elétricas, estão previstos pontos para telefone e para antena. Devido à dificuldade de passagem de cabeamento, intervenções foram realizadas de modo inadequado, acarretando em quebra na estanqueidade da cobertura.

As **instalações hidrossanitárias** foram verificadas em relação à presença de detritos nos ralos, vazamentos, descolamentos, rejuntamentos danificados, sinais de infiltração, inclinação do piso, ruídos excessivos, facilidade de acesso e integridade das peças sanitárias. A maioria dos itens relacionados à inspeção das instalações hidrossanitárias atenderam aos requisitos que constam na ficha de avaliação (Tabela 24). Os itens que não atendem satisfatoriamente aos requisitos são: vazamentos nas instalações (17%) e situações em que a água de banho e limpeza não corre para o ralo (16%).

Tabela 24. Avaliação das instalações hidrossanitárias.

Instalações Hidrossanitárias	A	NA	NSA	NV
Não há acúmulo de detritos nos ralos (n = 18)	16 (89%)	2 (11%)	0	1
Não há vazamentos nas instalações (n = 18)	15 (83%)	3 (17%)	0	1
Não há fissuras nas peças sanitárias (n = 19)	18 (95%)	1 (5%)	0	0
Não há peças sanitárias com descolamentos (n = 19)	18 (95%)	1 (5%)	0	0
Não há rejuntamento danificado nas instalações (n = 19)	17 (89%)	2 (11%)	0	0
Não há sinais de infiltração e manchas nas instalações (n = 19)	17 (89%)	2 (11%)	0	0
Água de banho e limpeza corre para o ralo (n = 19)	16 (84%)	3 (16%)	0	0
Não há ruídos excessivos no decorrer da utilização das instalações (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Há facilidade de acesso com segurança para manutenção e limpeza (n = 18)	18 (100%)	0	0	1
As peças de utilização e demais componentes dos sistemas hidrossanitários que são manipulados pelos usuários não possuem cantos e superfícies ásperas (n = 19)	17 (89%)	2 (11%)	0	0

Foram observadas instalações hidrossanitárias com vazamentos na cozinha (grau de risco mínimo e regular) e área de serviço (grau de risco crítico).

O estado de conservação das instalações hidrossanitárias foi avaliado em Normal (79%) e Deficiente (21%).

Ao inspecionar as superfícies de peças, verificou-se que a bancada da pia de cozinha em granilite apresentava, em vários casos, excessivo desgaste e alta porosidade, com possibilidade de ruptura e impedimento da higienização adequada.

Nas **instalações de gás,** foram inspecionadas e verificadas a presença do ambiente exclusivo e ventilado, a conexão do registro e a pintura das tubulações. Há uma instalação de gás (tubulação de interligação entre o botijão, no abrigo externo, e o fogão, na cozinha, totalmente embutida). Foi verificado o armazenamento indevido do botijão de 13 kg no interior da edificação em 89% dos casos (grau de risco crítico), Tabela 25 e Figura 8, além da instalação do botijão no exterior, porém fora do abrigo (Figura 9).

Tabela 25. Avaliação da instalação de gás.

Instalações de Gás	A	NA	NSA	NV
Armazenamento de gás está fora das edificações, em ambiente exclusivo e com ventilação (n = 19)	2 (11%)	17 (89%)	0	0
O ponto de conexão do registro interno está em local acessível (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
As tubulações estão pintadas sem qualquer dano, inclusive com relação aos suportes empregados (n = 19)	0	0	19 (100%)	0

Figura 8. Instalações de gás – armazenamento de gás no interior da edificação, grau de risco crítico.

Figura 9. Instalações de gás com botijão fora do abrigo, grau de risco mínimo.

O estado de conservação das instalações de gás foi avaliado como Normal (37%) e Deficiente (63%).

Os resultados da avaliação geral das áreas internas constam na Tabela 26. É possível verificar que, dentre os itens verificados, aqueles que atingiram falhas em frequência superior a 16% estão: pintura, revestimento de piso, esquadrias de alumínio, vidraçaria, instalações elétricas e instalações de gás.

Tabela 26. Quadro geral de avaliação das áreas internas.

Avaliação	A	NA	NSA	A	NA	NSA	NV
Paredes/painéis de vedação	67	7	0	91%	9%	0%	2
Estruturas	131	2	0	99%	1%	0%	0
Pintura	94	18	0	84%	16%	0%	2
Revestimentos de piso	92	20	0	82%	18%	0%	2
Revestimentos de parede	102	12	0	89%	11%	0%	0
Forro (pintura e estrutura)	127	6	0	95%	5%	0%	0
Esquadrias de madeira	161	10	34	78%	5%	17%	4
Esquadrias de alumínio	148	38	1	79%	20%	1%	3
Vidraçaria	61	13	0	82%	18%	0%	2
Instalações elétricas	115	31	19	70%	19%	11%	6
Instalações de telefonia, tv e internet	107	5	19	82%	4%	14%	2
Instalações hidrossanitárias	171	16	0	91%	9%	0%	3
Instalações de gás	2	17	38	3%	30%	67%	1
Totais	1378	195	111	82%	12%	6%	27

A Tabela 19 apresenta um resumo do estado de conservação das áreas internas.

Tabela 19. Estado de conservação das áreas internas.

Estado de Conservação Áreas Internas	Ótimo (%)	Normal (%)	Deficiente (%)	Inexistente (%)
Paredes e painéis de vedação (n = 19)	0	84	16	0
Estruturas (n = 19)	5	89	5	0
Pintura (n = 19)	0	58	42	0
Revestimento de piso (n = 19)	5	63	32	0
Revestimento de paredes (n = 19)	0	74	26	0
Forro (pintura e estrutura) (n = 19)	11	89	0	0
Esquadria de madeira (n = 19)	0	84	16	0
Esquadria de alumínio (n = 19)	5	42	53	0
Vidraçaria (n = 19)	5	63	32	0

Tabela 19. Continuação

Estado de Conservação Áreas Internas	Ótimo (%)	Normal (%)	Deficiente (%)	Inexistente (%)
Instalações elétricas (n = 19)	5	58	37	0
Instalações de telefonia, internet e TV (n = 19)	5	90	5	0
Instalações hidrossanitárias (n = 19)	0	79	21	0
Instalações de gás (n = 19)	0	37	63	0

O estado de conservação Normal é o de maior frequência para todos os itens verificados, com exceção da Esquadria de Alumínio e da Instalação de Gás, nos quais a situação Deficiente é a mais frequente. Porém, há outras situações críticas, como a da Pintura, do Revestimento do Piso, da Vidraçaria e das Instalações Elétricas, em que a deficiência é alta.

4.2. Vistoria de Áreas Externas

Na vistoria das áreas externas, foram inspecionados o sistema de cobertura, a pavimentação (calçadas e acessos), as fachadas, as instalações de gás e diversos (caixa d'água, caixa de gordura).

A verificação da **cobertura** abrange itens relacionados à conservação de calhas e canaletas, impermeabilização, facilidade de acesso para manutenção e limpeza, fixação das telhas e acessórios, como calhas e rufos. A maioria dos itens que se adequavam ao caso atendeu todos os requisitos com frequência superior aos 84% (Tabela 27), e o estado de conservação foi avaliado como Ótimo (32%), Normal (58%) e Deficiente (11%).

Tabela 27. Avaliação da cobertura.

Cobertura	A	NA	NSA	NV
Calhas e canaletas limpas e funcionando, sem empoçamento e grelhas hemisféricas (n = 19)	0	0	19 (100%)	0
Impermeabilização - não há sinais de infiltração (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Há facilidade de acesso com segurança para manutenção e limpeza (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Telhas devidamente fixadas (n = 19)	18 (95%)	1 (5%)	0	0
Existência de acessórios: rufos, calhas e afins (n = 19)	19 (100%)	0	0	0

Na inspeção da **pavimentação, calçadas e acessos internos ao lote,** foi verificada a presença de peças soltas, deformações, fissuras, desgastes, sinais de umidade e caimento do piso.

Os itens relacionados à pavimentação, às calçadas e aos acessos internos ao lote que atendem à frequência superior a 84% são: não há peças soltas (100%), não há deformações (88%), não há desgaste (94%) e caimento da pavimentação (100%). As verificações que não atendem são: existência de fissuras (58%) e de sinais de umidade (19%), Tabela 28.

Tabela 28. Avaliação da pavimentação, calçada e acessos internos ao lote.

Pavimentação – Calçadas e Acesso Interno ao Lote	A	NA	NSA	NV
Não há peças soltas (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Não há deformações (n = 17)	15 (88%)	2 (12%)	0	2
Não há fissuras (n = 19)	8 (42%)	11 (58%)	0	0
Não há desgaste (n = 18)	17 (94%)	1 (6%)	0	1
Não há sinais de umidade (n = 16)	13 (81%)	3 (19%)	0	3
Verificar caimento da pavimentação (n = 18)	18 (100%)	0	0	1

As poucas deformações da pavimentação foram verificadas nos acessos internos ao lote (grau de risco regular). As fissuras foram observadas na pavimentação das calçadas (grau de risco mínimo). Os sinais de infiltração foram verificados na pavimentação dos acessos (grau de risco regular e crítico).

O estado geral da pavimentação foi avaliado como Normal (79%) e Deficiente (21%).

Os itens verificados relativos às **Fachadas** foram o estado de conservação da pintura, a impermeabilização, a facilidade de acesso para manutenção e limpeza, as fissuras e descolamentos dos revestimentos. Os que não foram atendidos, com a frequência inferior a 16% nas inspeções, referem-se à: pintura – mau estado de conservação (42%), fissuras perceptíveis nos revestimentos (84%) e descolamento de revestimento (21%), Tabela 29 e Figuras 10 e 11.

Tabela 29. Avaliação das fachadas.

Fachadas	A	NA	NSA	NV
Pintura – estado de conservação (n = 19)	11 (58%)	8 (42%)	0	0
Impermeabilização (não há sinais de infiltração) (n = 19)	16 (84%)	3 (16%)	0	0
Há facilidade de acesso com segurança para a manutenção e limpeza (n = 19)	17 (89%)	2 (11%)	0	0
Não há fissuras perceptíveis no revestimento (n = 19)	3 (16%)	16 (84%)	0	0
Não há descolamento de revestimento (n = 19)	15 (79%)	4 (21%)	0	0

Figura 10. Pintura – estado de conservação, grau de risco mínimo.

Figura 11. Fissuras perceptíveis no revestimento, grau de risco mínimo.

O estado geral de conservação das fachadas foi avaliado como Normal (68%) e Deficiente (32%).

Na inspeção das **Instalações de gás,** verificou-se o armazenamento, o abrigo dos medidores, as tubulações e a facilidade de acesso para as medições. Nesse caso, apenas um dos itens pôde ser avaliado (Tabela 30). Os demais itens se referem às instalações de gás central ou de gás de rua, com central de medição instalada em área comum, portanto, não se aplicam para este caso.

Tabela 30. Avaliação de instalações de gás.

Instalações de Gás	A	NA	NSA	NV
Armazenamento de gás está fora das edificações, em ambiente exclusivo e com ventilação (n = 19)	2 (11%)	17 (89%)	0	0
Os abrigos dos medidores e dispositivos para a medição são permanentemente ventilados e iluminados (n = 19)	0	0	19 (100%)	0
A tubulação de gás aparente está pintada na cor amarela (n = 19)	0	0	19 (100%)	0
As tubulações que afloram do piso ou parede no local de medição do gás têm proteção anticorrosiva até 50 mm além do ponto de afloramento (n = 19)	0	0	19 (100%)	0
O local de medição do gás está em condições de fácil acesso (n = 19)	0	0	19 (100%)	0

O estado geral de conservação das instalações de gás foi avaliado como Normal (22%) e Deficiente (78%), principalmente devido ao armazenamento indevido do botijão.

Na inspeção das **Instalações Diversas,** foi verificada a facilidade de acesso à caixa d'água, presença de vazamentos, impermeabilização, contenção da caixa d'água, caixa de gordura, para-raios e aterramentos. Outras instalações foram vistoriadas e os resultados são apresentados na Tabela 31, abaixo. Observa-se que algumas instalações não foram verificadas, principalmente devido a alguma dificuldade de acesso para avaliação. O sistema de para-raios era inexistente neste caso.

Tabela 31. Avaliação de outras instalações (diversas).

Diversos - Caixa D'água, Caixa de Gordura, Para-Raios, Aterramento	A	NA	NSA	NV
Caixa d' água: facilidade de acesso com segurança para a manutenção e inspeção (n = 19)	19 (100%)	0	0	0
Caixa d'água sem vazamentos (n = 18)	16 (89%)	2 (11%)	0	1
Caixa d'água: verificar existência de contenção para prevenir rompimento da caixa d'água (n = 19)	0	0	0	19
Caixa d'água: previsão de impermeabilização (n = 19)	0	0	0	19
Caixa de gordura: facilidade de acesso com segurança para manutenção e inspeção (n = 18)	16 (89%)	2 (11%)	0	1
Caixa de gordura sem vazamentos (n = 17)	16 (94%)	1 (6%)	0	2
Para-raios e aterramentos (n = 19)	0	0	19 (100%)	0

O estado geral de conservação dessas instalações, nos itens aplicáveis, foi considerado Normal para grande parte das situações.

A **Avaliação geral das áreas externas** (Tabela 32) apresenta um resumo dos itens atendidos e não atendidos, no qual a frequência de não atendimento superior a 16% pode ser visto nos seguintes itens: Pavimentação, Fachadas e Instalações de Gás.

Tabela 32. Quadro geral da avaliação de áreas externas.

Avaliação Geral	A	NA	NSA	A	NA	NSA	NV
Cobertura	75	1	19	79%	1%	20%	0
Pavimentação – calçadas e acesso interno ao lote	90	17	0	84%	16%	0%	7
Fachadas	62	33	0	65%	35%	0,0%	0
Instalações de gás	2	17	76	2%	18%	80%	0
Diversos – Caixa d'água, caixa de gordura, para-raios, aterramento	67	5	19	74%	6%	21%	42
Total	296	73	114	61%	15%	24%	

O resumo do **estado de conservação das áreas externas** pode ser visto na Tabela 33 a, seguir. A situação mais crítica está nas instalações de gás, apontada como *Deficiente* em 78% das situações.

Tabela 33. Estado de conservação das áreas externas.

Estado geral de Conservação Áreas externas	Ótimo (%)	Normal (%)	Deficiente (%)	Inexistente (%)
Cobertura (n = 19)	32	58	11	0
Pavimentação – calçadas e acessos internos ao lote (n = 19)	0	79	21	0
Fachadas (n = 19)	0	68	32	0
Instalações de gás (n = 19)	0	22	78	0
Diversos – caixa d'água, caixa de gordura, para-raios e aterramentos (n = 19)	0	22	11	0

5. Considerações Finais

A aplicação dos instrumentos para avaliação de desempenho do sistema construtivo e da manutenção e manutenibilidade da edificação em estudo subsidiou dois tipos de reflexão, ora relacionadas ao sistema construtivo avaliado, ora ao instrumento em teste.

Em geral, os resultados diretamente relacionados ao sistema construtivo avaliado foram positivos, sem que problemas com impacto negativo expressivo à população tenham sido identificados. Apesar disso, foram identificadas algumas falhas, sistemáticas ou não, que impactam a qualidade da edificação, comprometendo indiretamente o desempenho do sistema em sua função específica. Isso ocorreu sistematicamente, por exemplo, em razão de problemas nos revestimentos dos banheiros e nas esquadrias de alumínio. Além disso, algumas falhas pontuais, como vazamentos em tubulações no interior dos painéis de algumas unidades, apontam problemas na produção, transporte ou instalação desses elementos. Tal problema pode tanto ter origem em alguma deficiência em procedimentos de execução da obra, como ser resultado do uso de materiais inadequados em sua produção. Esse fenômeno alerta para os riscos de se considerar isoladamente a qualidade de um determinado sistema, sem verificar seu desempenho no conjunto, em condições reais de aplicação, uso e manutenção.

A incidência de deficiências no sistema construtivo em decorrência da interação inadequada deste com materiais e componentes de baixa qualidade, evidencia também a necessidade de se dar mais atenção à especificação realizada em projeto. Pode se destacar, nesse caso, a importância de fortalecer

a comunicação entre os fornecedores do sistema e seus componentes e a equipe desenvolvedora do empreendimento para garantir que as condições de execução sejam adequadas. Outra falha de comunicação observada ocorreu com os moradores, que, por exemplo, resultou na utilização inadequada das instalações de gás, podendo gerar risco grave de incêndio, explosão ou intoxicação em muitas residências por utilizarem o botijão de gás internamente, não respeitando a solução de projeto da unidade. Ambos os problemas observados estão intimamente relacionados a decisões do projeto das unidades, que extrapolam o escopo de intervenção destes instrumentos, mas fomentam uma reflexão sobre os fatores que impactam a qualidade e segurança das habitações construídas.

É importante destacar as diferenças de abordagem nos dois instrumentos cuja aplicação foi discutida até aqui e como elas se complementam na avaliação das unidades habitacionais. Os itens da Ficha de Verificação da Obra foram estruturados a partir dos requisitos e dos parâmetros estabelecidos na Norma Brasileira de Desempenho em Edificações Habitacionais – NBR 15575 (ABNT, 2013), já as Fichas para Avaliação da Manutenção tiveram em normas brasileiras e documentações técnicas relativas à manutenção de sistemas e subsistemas construtivos e de instalações prediais (IBAPE, 2009) a base para elaboração de seus itens de verificação. Ambas buscaram estabelecer uma estrutura geral de aplicação, de forma a uniformizar os dados levantados em várias tipologias de edificações e diferentes sistemas construtivos. Contudo, durante a aplicação dos instrumentos, ficou evidente a necessidade de adequá-las às especificidades de avaliação de casos.

Além disso, constatou-se uma excessiva generalidade nas fichas de verificação das áreas externas relacionadas às instalações elétricas, instalações de gás, esquadrias e diversos, gerando muitos resultados em que os critérios "não se aplicam" ao projeto do empreendimento. Como a elaboração das fichas baseou-se, principalmente, em empreendimentos habitacionais multifamiliares e de múltiplos pavimentos, parte de suas questões não se aplicavam a unidades habitacionais unifamiliares térreas acomodadas em lotes individuais, como ocorre no caso de estudo. Tal ambiguidade pode gerar dúvidas nos aplicadores e demandar maior tempo para aplicação.

Assim, em pesquisas futuras, torna-se interessante considerar possibilidades de desmembrar e aprimorar as fichas para as principais situações encontradas em programas habitacionais atualmente, notadamente:

- Unidades habitacionais unifamiliares em lotes isolados;
- Unidades habitacionais unifamiliares em condomínios horizontais;
- Unidades habitacionais agrupadas verticalmente em edifícios multifamiliares de até 5 pavimentos;
- Unidades habitacionais agrupadas verticalmente em edifícios multifamiliares acima de 5 pavimentos.

Este capítulo apresentou os resultados da aplicação em campo de dois instrumentos utilizados para coleta de dados a fim de realizar a avaliação de desempenho e manutenção de unidades habitacionais edificadas com sistema construtivo inovador em um empreendimento específico, assim como para realizar uma avaliação da efetividade desses instrumentos. Tais instrumentos fazem parte de um método proposto, cujo conteúdo é apresentado nos Capítulos 9 a 10 deste livro e cujos resultados são discutidos de maneira integrada no Capítulo 11.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10152:** Níveis de ruído para conforto acústico – Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575: Edificações Habitacionais –** Desempenho (Partes 1 à 5). Rio de Janeiro, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA – IBAPE. **Norma de Inspeção predial do IBAPE.** São Paulo, 2009.

FABRICIO, M.M.; ONO, R. (Orgs.). **Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras:** Manutenção e Percepção do Usuário. Porto Alegre: ANTAC/Caboverde, 2015. v. 1, 159 p. DOI: http://dx.doi.org/10.4322/978-85-89478-42-7

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-5953-029-2.2017C0010.p.259-292

10 Percepção dos Usuários e Avaliação de Desempenho em Uso de Habitações em Sistemas Construtivos Inovadores

Rosaria Ono
Mena Cristina Marcolino Mendes
Lucas Melchiori Pereira
Sheila Walbe Ornstein
Márcio Minto Fabricio
Fúlvio Vittorino

1. Introdução

Este capítulo trata da aplicação de dois instrumentos: o questionário ao morador e o roteiro de entrevista a profissional da assistência técnica, realizados em um empreendimento habitacional de interesse social de unidades familiares isoladas, edificado a partir de um sistema construtivo detentor de Documentação de Avaliação Técnica, de acordo com as Diretrizes de Avaliação Técnica do SiNAT. Os dois instrumentos são parte de um conjunto cujo objetivo é a avaliação de desempenho em uso e manutenção de habitações em sistemas construtivos inovadores. O conjunto de instrumentos proposto, do qual esses dois fazem parte, são detalhados e discutidos em Fabrício; Ono (2015) e Ono et. al. (2015).

A Figura 1 representa um esquema com a contextualização dos dois instrumentos objeto deste capítulo.

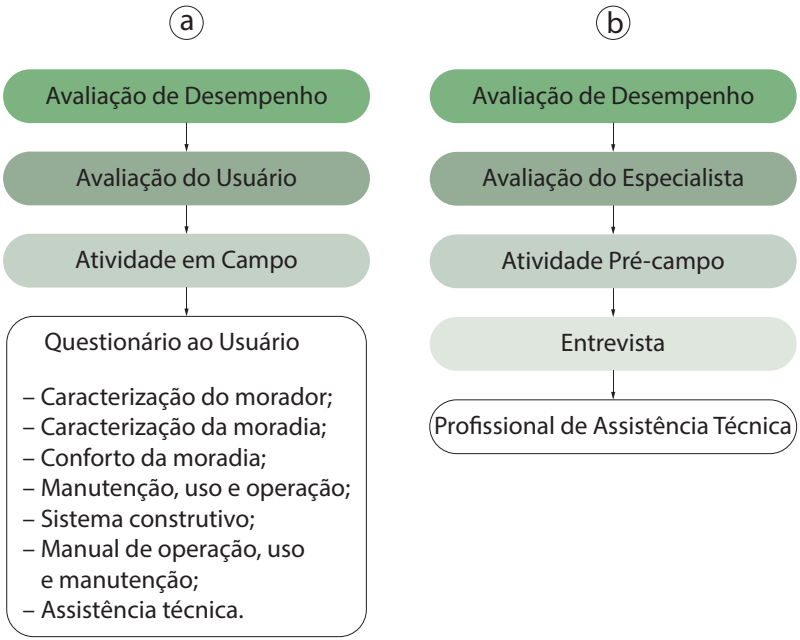


Figura 1. Avaliação de desempenho e instrumentos propostos e aplicados. (a) Questionário ao morador; (b) Entrevista com o profissional de assistência técnica.

2. Aplicação dos Instrumentos

2.1. Aplicação do Questionário aos Moradores

A aplicação do questionário considerou como população total as 336 unidades habitacionais do empreendimento (Figura 2), localizado em um município de pequeno porte a aproximadamente 350 km da capital do estado de São Paulo. A partir das informações inicialmente obtidas sobre o empreendimento, entendeu-se que não há características tanto construtivas como do entorno que demandem o uso de técnicas de amostragem probabilística mais elaboradas. Assim, a definição das amostras para aplicação do questionário ao morador foi realizada considerando-se a técnica da amostragem aleatória simples. Para a definição do tamanho dessa amostra, admitiu-se que se encontrariam graus de satisfação e ocorrências sistemáticas (decorrentes de projeto e execução) com alta frequência, da ordem de 80%. Assim, adotando-se um nível de confiança de 90% e margem de erro de 5%, obteve-se um tamanho de amostra de, no mínimo, 115 moradores de unidades distintas.

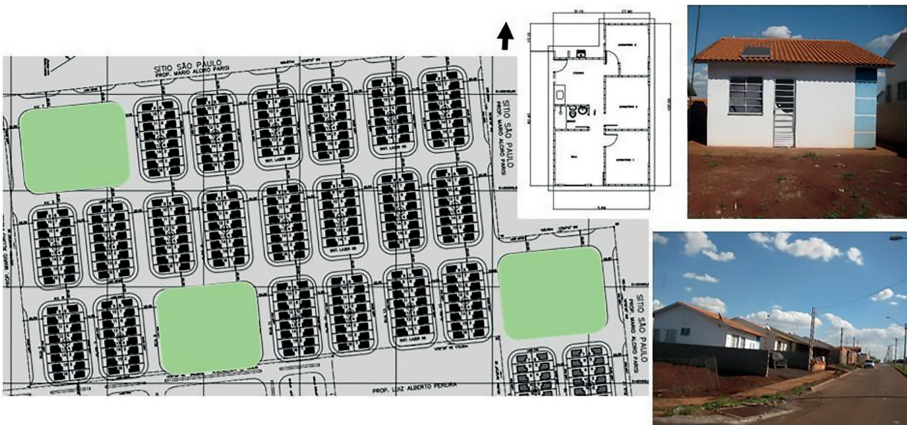


Figura 2. Planta de implantação do empreendimento e da tipologia da unidade habitacional. Fonte: Mapa e planta da unidade habitacional fornecidos pela Construtora (adaptados pelos autores).

Neste estudo, a estratégia para a aplicação do questionário considerou a importância do contato direto com morador/usuário para obter as informações desejadas, pois em trabalhos anteriores (pré-testes) não se obteve a totalidade das respostas, quando os formulários eram entregues nas unidades e recolhidos posteriormente. Também foi testada a coleta de dados por meio do uso de tablets e aplicativo de coleta de dados off-line (ORNSTEIN; ONO; OLIVEIRA, 2017).

O questionário ao morador, elaborado, inicialmente, em formulário físico, foi digitalizado utilizando-se o aplicativo denominado *QuickTapSurvey* (http://www.quicktapsurvey.com/lg/pt/ versão 6.2.5), instalado em tablets. Esse aplicativo proporcionou algumas vantagens, como a agilização do processo de coleta de dados e a automatização da tabulação desses dados em planilha eletrônica.

A etapa de coleta de dados abrangeu as seguintes fases: (1) elaboração do questionário (online); (2) envio do questionário (online) para o aplicativo instalado nos tablets; (3) coleta de dados propriamente dita no empreendimento (offline) e registro das respostas; (4) envio dos dados coletados (online) e armazenamento no aplicativo; (5) download dos dados coletados e armazenados em planilha eletrônica (online); (6) geração de relatórios e gráficos somente em *Portable Document Format* (PDF), para visualização (online); (7) tabulação dos dados em planilha eletrônica.

Uma equipe de quatro pesquisadores realizou a aplicação do questionário junto aos moradores no período de 15 a 17 de janeiro de 2016. Foi possível obter, ao final de três dias de aplicação em campo, respostas de 104 moradores de unidades habitacionais distintas, sorteadas aleatoriamente dentre as 336 unidades do empreendimento. Na ausência do morador ou em virtude da recusa em participar da pesquisa, procedeu-se um novo sorteio de unidades adicionais. Obteve-se a maior quantidade possível em três dias de trabalho em campo. Antes da aplicação do questionário, foi apresentado ao morador o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), aprovado pelo Comitê de Ética (processo CAAE 49362415.1.0000.5390, submetido em 19/09/2015 e aprovado em 27/10/2015), e obtida a assinatura com explícita informação sobre os objetivos e riscos da pesquisa de cada morador entrevistado.

O Quadro 1 apresenta a estrutura do questionário, com os tópicos que o compõem.

Quadro 1. Tópicos do questionário aos moradores.

Tópicos	Conteúdo
Caracterização do respondente e do perfil econômico dos moradores	Perfil do respondente, idade, gênero, estado civil, grau de escolaridade, tempo de residência, se proprietário ou inquilino, tamanho da família, perfil de gastos mensais com necessidades básicas da moradia (água, energia elétrica, gás, telefonia e correlatos e condomínio).
Caracterização da moradia atual	Comparação com as condições da moradia anterior, eventuais alterações realizadas ou previsão de intervenções e desempenho das instalações prediais.
Conforto na moradia	Satisfação com: ergonomia e funcionalidade (dimensões mínimas dos cômodos), conforto acústico (geradores de ruídos externos e internos, qualidade da isolação sonora), conforto térmico (extremos de calor e frio nos diversos ambientes) e conforto lumínico (eficiência da iluminação natural).
Manutenção, uso e operação	Facilidade de manutenção da moradia: instalações prediais, acabamentos e revestimentos, vedações (parede, piso, teto e cobertura).
Sistema construtivo	Conhecimento e opinião sobre o sistema construtivo inovador empregado.
Manual de Operação, Uso e Manutenção	Recebimento e leitura do manual, nível de compreensão e qualidade do seu conteúdo.
Assistência Técnica	Identificação e forma de resolução de problemas construtivos, conhecimento sobre o direito à assistência técnica e a avaliação desse serviço dentro da garantia.

Fonte: Ono et al. (2015).

No item "Resultados", a seguir, são apresentadas as análises estatísticas dos resultados da aplicação do questionário.

Além de estatísticas descritivas, foram realizados também testes não paramétricos de dependência do grau de satisfação expresso pelo usuário com suas características socioeconômicas, utilizando-se o teste de aderência do Qui-quadrado.

2.2. Aplicação do Roteiro de Entrevista com Profissional de Assistência Técnica

A entrevista com o profissional de assistência técnica trata-se de um roteiro com 10 questões semiestruturadas. Esse instrumento pré-campo da avaliação do especialista tem a finalidade de balizar as informações obtidas pelos profissionais de assistência técnica prestada pelas construtoras com relação ao desempenho em uso do sistema construtivo. A entrevista foi agendada previamente e realizada em uma hora e vinte minutos.

Uma das recomendações é que essa entrevista ocorra em período anterior à aplicação do "Roteiro de inspeção para avaliação da manutenção da unidade habitacional com sistema construtivo inovador" (Avaliação do especialista – atividade em campo), uma vez que as informações obtidas podem ser úteis na detecção ou identificação de não conformidades na obra. Porém, essa recomendação não foi seguida, tendo em vista a necessidade de aguardar a aprovação pelo Comitê de Ética para a aplicação da entrevista com o profissional de assistência técnica.

Outra recomendação é que, ao realizar a entrevista, o entrevistador não se atenha estritamente ao roteiro, podendo realizar perguntas adicionais e complementares às questões iniciais, quando achar pertinente.

Em relação ao tratamento dos dados, o entrevistador deve destacar as informações qualitativas mais relevantes obtidas, seguindo o roteiro de entrevista semiestruturada, com base em suas anotações e nas informações registradas.

A entrevista com o profissional de assistência técnica foi realizada no dia 8 de fevereiro de 2017, seguindo o roteiro previamente elaborado, que abrange os seguintes tópicos:

- Processo de prestação de assistência técnica.
- Capacitação da mão de obra para a prestação de assistência técnica.

- Identificação de necessidade de serviços não planejados.
- Procedimentos necessários para prestação de assistência técnica ao morador/ unidade habitacional/ empreendimento habitacional.
- Sobre o sistema de armazenamento de informações sobre serviços prestados pela assistência técnica (quantidade de ocorrências, identificação de problemas, quantidade de solicitações atendidas).
- Principais reparos realizados nas áreas comuns do condomínio em questão no último ano.
- Principais reparos realizados nas unidades habitacionais no último ano.
- A qualidade do acesso às instalações, reservatórios e coberturas para realização de manutenção e inspeções.
- O caráter das intervenções de manutenção, se no geral foram preventivas ou corretivas.
- A forma como o usuário/condomínio pode acessar materiais, mão de obra e equipamentos adequados ao sistema construtivo inovador utilizado nas unidades habitacionais em:

  – Situações fora da garantia;

  – Situações de reforma;

  – Melhorias/ampliações na unidade habitacional.

3. Resultados

3.1. Questionário ao Morador

Do total de unidades do Conjunto Habitacional, 104 unidades foram pesquisadas. Esse número, apesar de ser menor que o originalmente determinado, está próximo dele e gerou margens de erro da mesma ordem de grandeza do que o desejado.

A partir dos horários de início e término de cada entrevista, agrupou-se a duração das conversas em 4 classes: até 10 minutos (16%), + 10 até 20 minutos (60%), + 20 a 30 minutos (18%), +30 até 40 minutos (6%) e + 40 até 50 minutos (1%) (Figura 3). A média de tempo de aplicação (102 dados válidos) foi de 16 minutos. Além da variação inerente ao processo de entrevista, as demais variações se justificam pelo fato de que o questionário foi construído de forma a aprofundar determinados assuntos em função da

resposta do morador. Assim, por exemplo, quando um respondente afirma que realizou reformas e ampliações na residência, uma série de questões adicionais é aplicada para detalhar tais eventos. Com base na duração das entrevistas realizadas, é possível estimar o tempo para essa atividade em pesquisas futuras em 20 minutos.

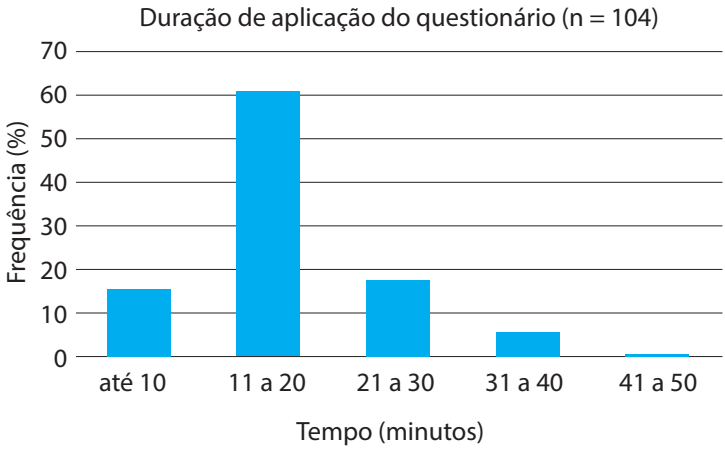


Figura 3. Duração da aplicação do questionário.

As questões sobre a **Caracterização dos respondentes e perfil dos moradores** têm o objetivo de apresentar os dados relativos à idade, gênero, estado civil, escolaridade, residentes por domicílio, gastos mensais, entre outros. Do total de 104 respostas válidas, 77% dos respondentes declararam ser os responsáveis pela moradia e 23%, dependentes. A maioria dos respondentes pertence às faixas etárias superiores a 20 anos, sendo a distribuição das idades ilustrada no gráfico abaixo (Figura 4). A grande maioria tem entre 21 e 50 anos de idade (77%).

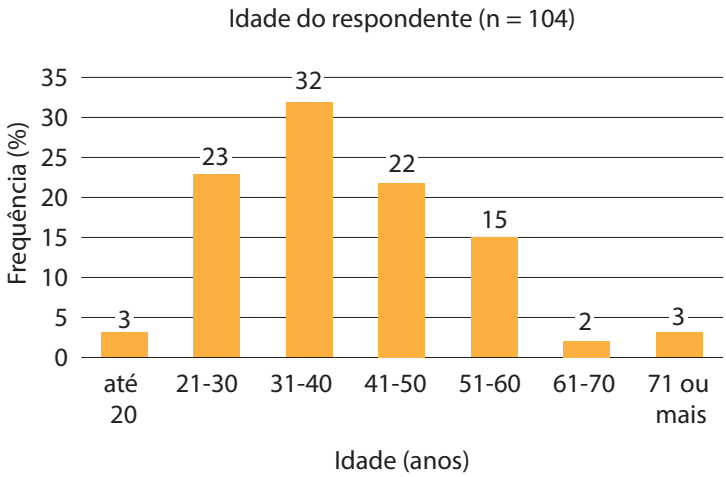


Figura 4. Questionário ao morador - faixa etária dos respondentes.

O gênero dos respondentes é predominantemente feminino (63%), e a grande maioria dos respondentes declarou ser casado (a) ou possuir união estável (72%) – Figura 5.

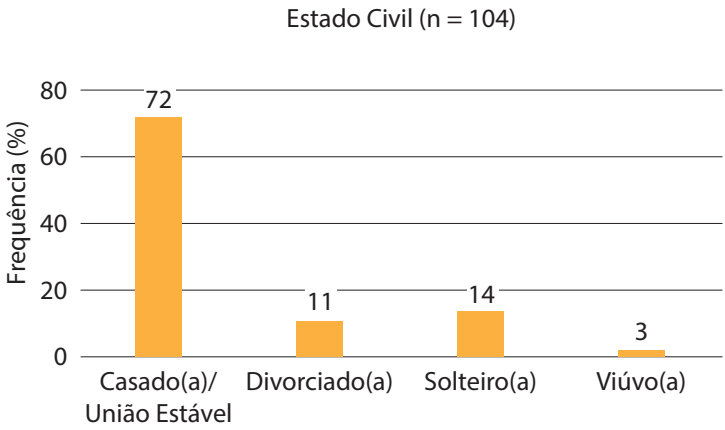


Figura 5. Estado civil do respondente.

Quanto ao grau de escolaridade, cerca de 40% dos respondentes declarou ter ensino fundamental completo (11%) ou incompleto (29%) e 60% tem ensino médio completo (32%) ou incompleto (28%) (Figura 6).

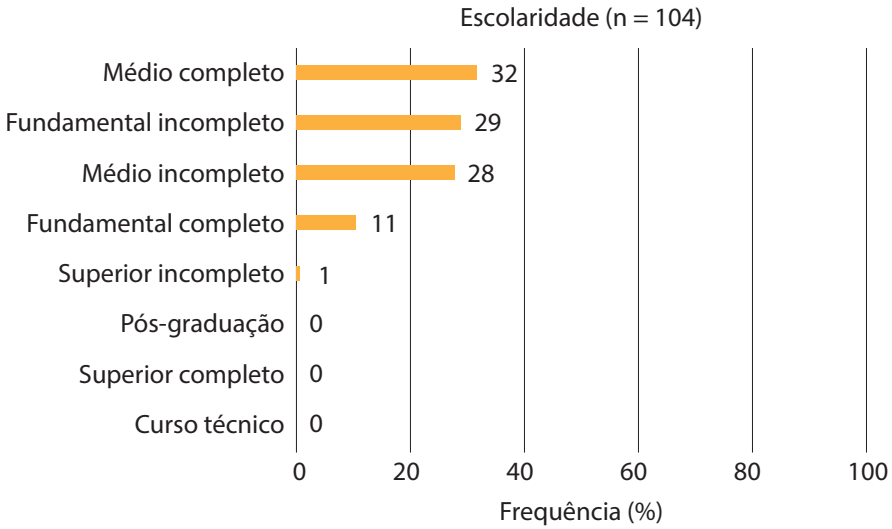


Figura 6. Grau de escolaridade do respondente.

Acerca do tempo de moradia, os participantes informaram residir no conjunto habitacional entre 1 e 2 anos (87%), isto é, a maioria dos moradores reside no local desde a entrega do empreendimento.

Dos residentes pesquisados, a maioria é proprietária (98%) e primeiro morador (95%) do imóvel.

O número total de residentes por unidade domiciliar, incluindo maiores e menores de idade, é de três residentes em 36% dos casos, quatro residentes em 30%, dois residentes em 18% e de cinco em 11% dos casos (vide Figura 7). Portanto, 66% das unidades apresentam entre três e quatro moradores, sendo que a média de pessoas por unidade da amostra é de 3,5.

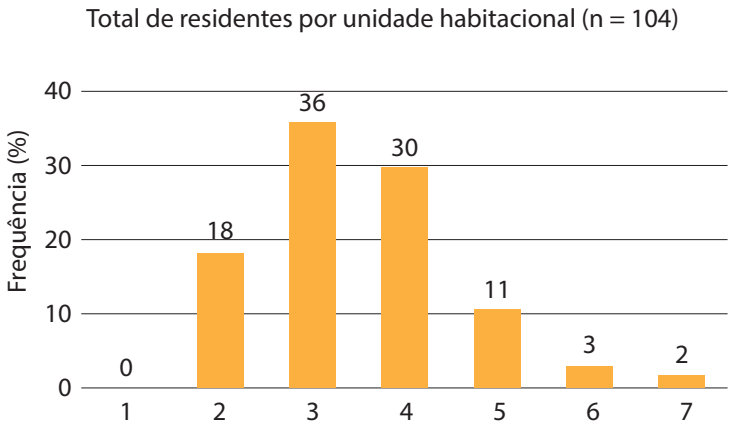


Figura 7. Total de residentes por unidade habitacional.

A constituição das famílias está representada, na maioria, por dois residentes maiores de idade (68%). A distribuição pode ser vista na Figura 8.

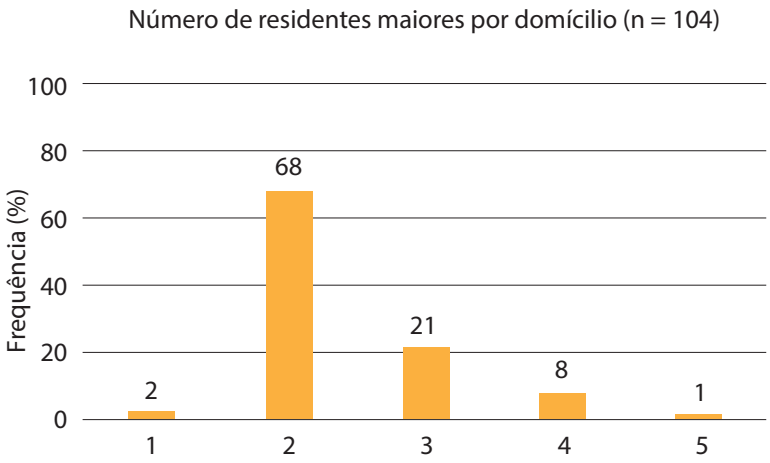


Figura 8. Número de residentes maiores por domicílio.

Uma parte significativa das unidades residenciais pesquisadas (34%) é composta somente de residentes adultos, ou seja, sem menores. Praticamente 1/3 dos domicílios é composto só de adultos, outro 1/3 tem um menor de idade e 35% dos domicílios tem 2 ou 3 menores na família (Figura 9).

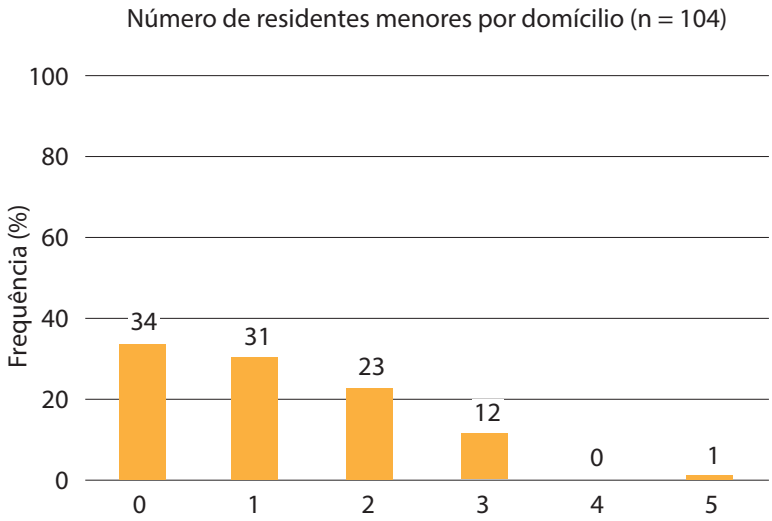


Figura 9. Número de residentes menores por domicílio.

Os gastos mensais por tipo de conta de consumo são apresentados na Figura 10. Os gastos com gás (95%) e água e esgoto (54%) são os mais frequentes na faixa de até R$50,00. Já os gastos com energia elétrica (53%), internet e TV (69%) são mais frequentes na faixa de R$ 51,00 a R$100,00. Há, no entanto, um número considerável de famílias que gastam de R$51,00 a R$100,00 com água e esgoto (37%), assim como aquelas que gastam de R$101,00 a R$200,00 em energia elétrica (39%).

As questões relativas à **Caracterização e condições de uso da moradia** têm por objetivo levantar as condições da moradia anterior, eventuais alterações realizadas ou previsão de intervenções e desempenho das instalações prediais. As frequências de ocorrência apresentadas a seguir são os valores obtidos para a amostra de 104 elementos. As margens de erro a elas associadas correspondem à inferência para a população, formada pelo total de moradias do empreendimento de 336 unidades. Adotou-se o nível de confiança de 95% para a determinação dessas margens de erro, a fim de se obter intervalos de confiança maiores e, assim, dar-se um caráter mais abrangente às conclusões. Ressalta-se que, dada a ordem de grandeza das respostas obtidas, todos os valores foram arredondados para números inteiros. Esse procedimento não gerou perda na confiabilidade das conclusões.

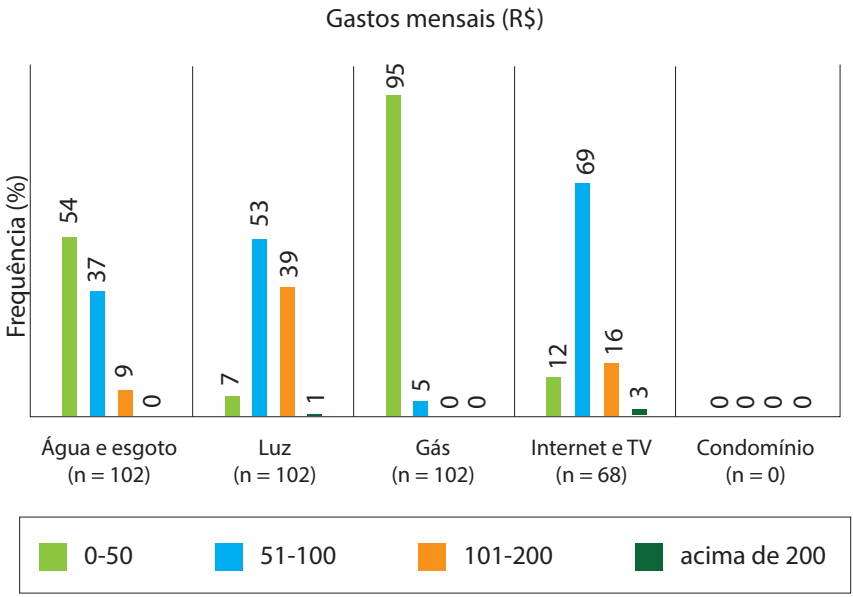


Figura 10. Faixa de gastos mensais dos moradores por tipo de serviço público.

A **condição da moradia atual** foi considerada "melhor" do que a anterior pela grande maioria dos entrevistados (86% com margem de erro de 7%).

Não houve declaração de ocorrência de **acidentes domésticos** por parte da maioria dos respondentes (94% com margem de erro de 5%). Igualmente, a maioria dos respondentes declarou que nunca ocorreu (98% com margem de erro de 3%) um princípio de incêndio em sua moradia.

Relativo às **alterações realizadas nas moradias**, praticamente metade dos respondentes declarou que "não" realizou modificações nas habitações (52%). As alterações realizadas com maior frequência são de construção de garagem para carros e área de lavanderia e de muros. Em valor menor, há obras na cozinha, área de lazer e outras benfeitorias (Figura 11).

Os usuários que declararam ter realizado alterações afirmaram "não" ter encontrado dificuldades na realização da alteração (78%).

Quanto ao desejo de realizar alterações na moradia, é representativa a resposta "sim" (88%, margem de erro de 7%). O desejo mais representativo é de ampliação e construção da garagem, varanda, cozinha e área de serviço. Os desejos de alterações menos representativos são a construção de muros, ampliação de quartos, banheiro, sala, etc. (Figura 12).

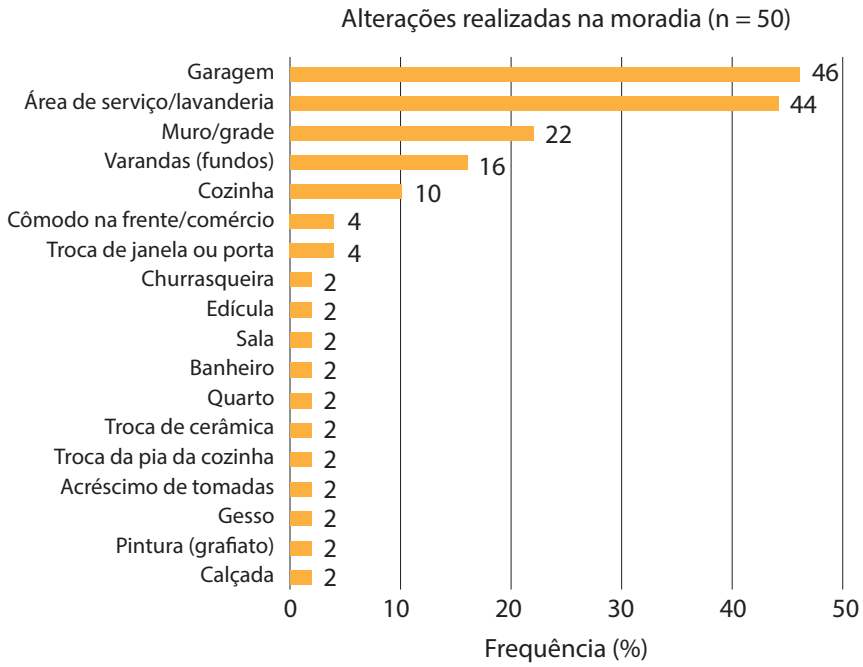


Figura 11. Tipos de alterações realizadas nas moradias.

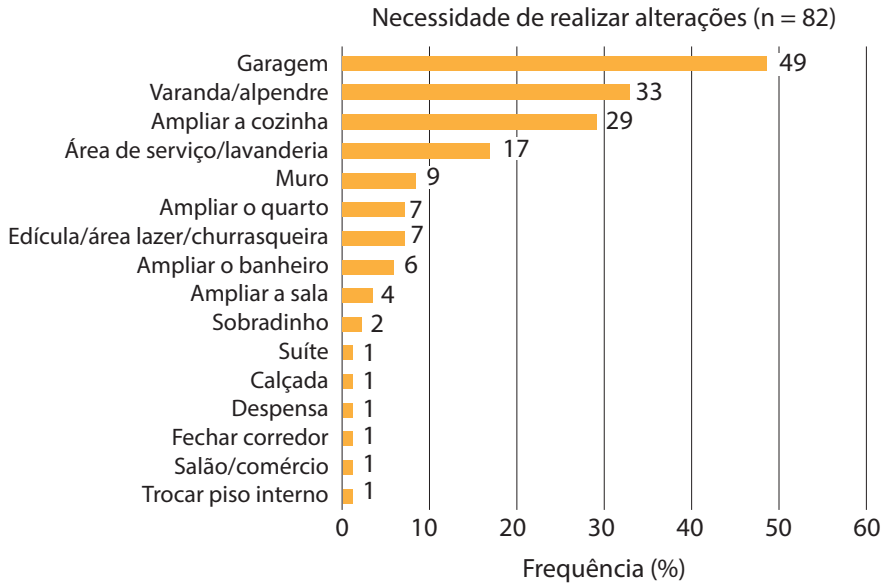


Figura 12. Tipos de alterações necessárias na moradia.

Os resultados dos respondentes sobre a **facilidade de limpeza e funcionamento das instalações** (Figura 13) correspondem aos níveis de satisfação obtidos na amostra que contém os itens facilidade de limpeza da moradia, funcionamento das instalações elétricas, funcionamento das instalações hidráulicas e facilidade de pendurar peças suspensas.

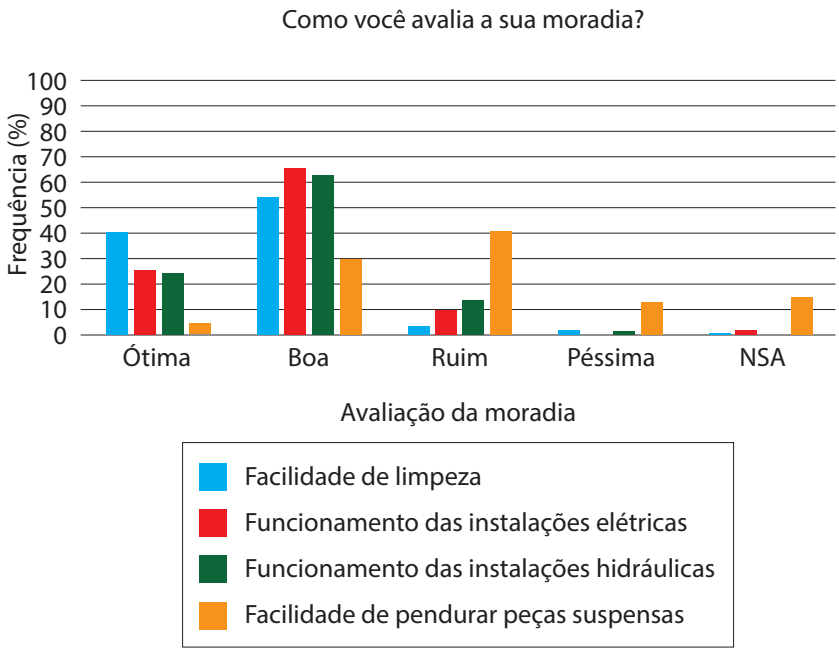


Figura 13. Grau de satisfação dos entrevistados com relação a aspectos de uso e manutenção.

A avaliação da facilidade de limpeza da moradia foi considerada "boa" (53% com margem de erro 10%) ou "ótima" (40% com margem de erro de 10%). Já a avaliação do funcionamento das instalações elétricas é classificada como "boa" (65%, margem de erro 9%) ou "ótima" (25%, margem de erro 8%). A avaliação do funcionamento das instalações hidráulicas é avaliada como "boa" (61%, margem de erro 9%) ou "ótima" (24%, margem de erro 8%).

Por sua vez, a avaliação da facilidade de pendurar peças suspensas é bastante variada: "ótima" (6%, margem de erro 5%), "boa" (34%, margem de erro 10%), "ruim" (46%, margem de erro 10%) ou "péssima" (15%, margem de erro 7%). Apesar das margens de erro, a tendência negativa,

"ruim/péssima" é mais significativa (60%, margem de erro 10%) do que a "ótima/boa" (40%, margem de erro 10%) (Figura 14).

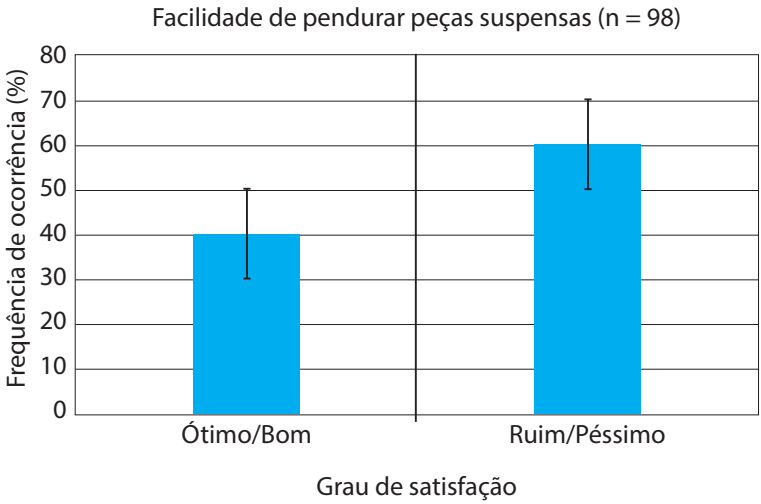


Figura 14. Avaliação da facilidade de pendurar peças suspensas (agrupadas).

O **tamanho dos cômodo**s (sala, dormitórios, banheiro, cozinha e área de serviço) foi avaliado no intuito de se fazer a verificação do conforto da moradia. A Figura 15 apresenta uma visão geral dos níveis de satisfação obtidos na amostra com relação ao tamanho dos cômodos da moradia.

O tamanho da sala é considerado "ótimo" (16%, margem de erro 7%) ou "bom" (63%, margem de erro de 9%) pela maioria dos respondentes.

O tamanho do dormitório maior também é avaliado positivamente pela maioria dos respondentes, considerado "bom" (67%, margem de erro 9%) ou "ótimo" (15%, margem de erro 7%). O mesmo se verifica para o tamanho do banheiro, que foi considerado "bom" (78%, margem de erro 8%) ou "ótimo" (13%, margem de erro 7%).

Já sobre o tamanho da cozinha não há um consenso, uma vez que ele foi avaliado negativamente, ou seja, "ruim/péssimo", por 55% (margem de erro 10%) dos respondentes e positivamente, "ótimo/bom", por 46% (margem de erro 10%). Na Figura 16, pode-se observar os valores obtidos para cada alternativa separadamente e a respectiva margem de erro para a população. Nota-se a expressiva sobreposição nas margens de erro.

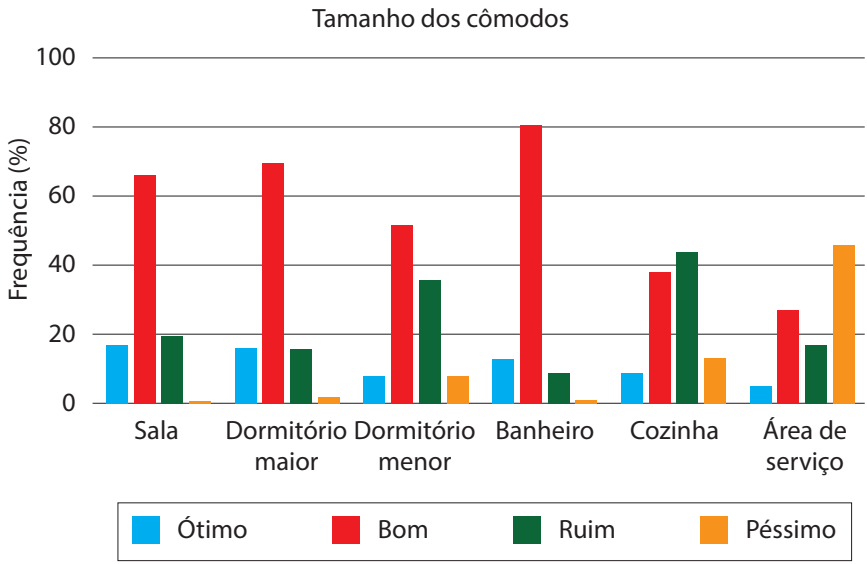


Figura 15. Grau de satisfação dos entrevistados com relação ao tamanho dos cômodos.

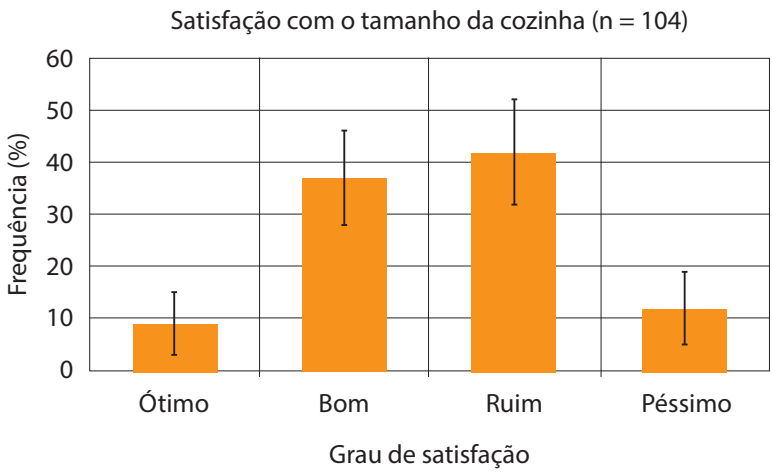


Figura 16. Grau de satisfação com o tamanho da cozinha.

Da mesma forma como foi o obtido para a cozinha, não há um consenso acerca do tamanho do dormitório menor, que foi considerado "ótimo" (8%, margem de erro 5%) e "bom" (50%, margem de erro 9,6%) por uma pequena maioria dos respondentes. Porém, é significativo o

número de respondentes insatisfeitos: "ruim" (35%, margem de erro 9%) ou "péssimo" (8%, margem de erro 5%) (Figura 17).

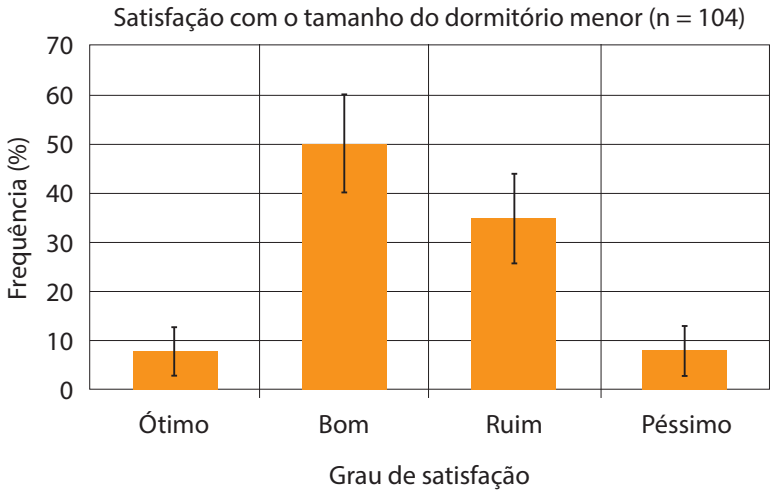


Figura 17. Grau de satisfação com o tamanho do dormitório menor.

O tamanho da área de serviço foi considerado "ótimo" ou "bom" por 34% (margem de erro 10%) dos respondentes e "péssima" ou "ruim" por 66 % (margem de erro 10%). Nesse caso, a avaliação tende a ser claramente negativa (Figura 18).

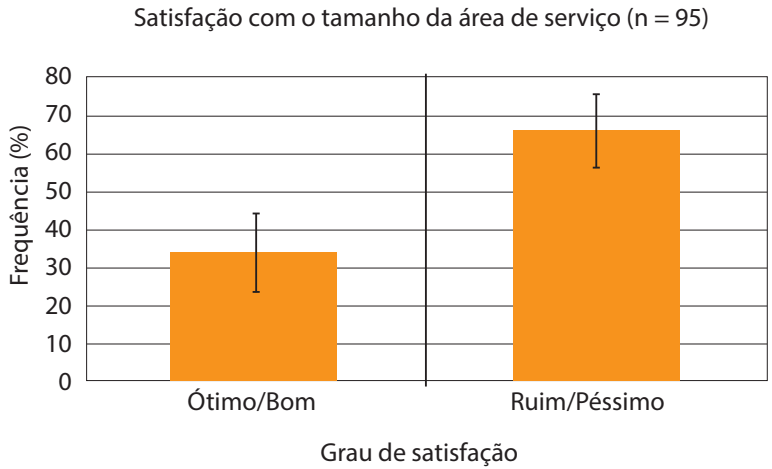


Figura 18. Avaliação do tamanho da área de serviço.

As questões relativas à **Avaliação do conforto da moradia,** além da funcionalidade e do tamanho dos cômodos, contemplam o conforto acústico, conforto lumínico e conforto térmico da edificação.

As questões de **conforto acústico** e relativas ao barulho externo e interno foram levantadas junto aos respondentes e revelaram que, tanto os barulhos gerados no interior da casa como os gerados no seu exterior, "não" incomodam a maioria dos entrevistados. Nessa perspectiva, 70% (margem de erro 9%) dos entrevistados disseram não ser perturbados por ruídos provenientes do interior da edificação e 85% (margem de erro 7%) dos entrevistados disseram não ser perturbados por ruídos provenientes do exterior da edificação.

Há também alto nível de satisfação dos usuários com relação ao **conforto lumínico**, uma vez que a grande maioria dos entrevistados afirmou que, durante o dia, "não" é preciso acender lâmpadas para: ler e escrever (86%, margem de erro 7%); cozinhar (91%, margem de erro 6%); costurar ou realizar outras atividades (97%, margem de erro 3%).

Há, ainda, grande satisfação com a sensação de **conforto térmico** no período frio, visto que a moradia foi considerada "confortável/agradável" pela maioria dos respondentes (71%, margem de erro 9%).

Já no período quente, não se verificou uma tendência clara como nos quesitos anteriores, uma vez que a moradia foi considerada "quente" (42%, margem de erro 10%) ou "insuportavelmente quente" (17%, margem de erro 7%) pela maioria dos respondentes (60%) e "confortável/agradável" (21%, margem de erro 8%) ou "levemente quente" 19%, margem de erro 8%) por cerca de 40% dos respondentes (Figura 19).

As questões sobre a **Facilidade de manutenção da moradia** contemplam os vários subsistemas, como as instalações prediais, acabamentos e revestimentos, vedações (parede, piso, teto e cobertura). A maioria dos respondentes declarou que "não" faz manutenção na casa (63%, margem de erro 9%).

As demais perguntas se referiam ao grau de facilidade de manutenção dos vários subsistemas da edificação, dirigidas aos participantes que responderam ter realizado a manutenção. No entanto, com pequena quantidade de respostas positivas, 39%, não se considerou adequado tentar inferir tais características para uma população maior.

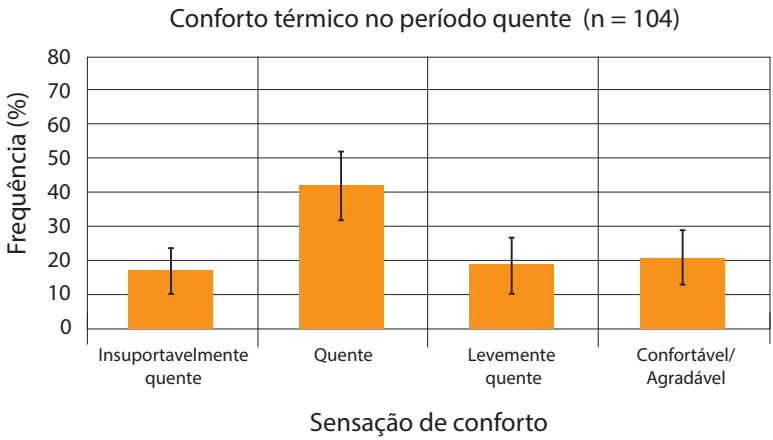


Figura 19. Avaliação do conforto da moradia no período quente.

As questões sobre o **sistema construtivo** buscam verificar o conhecimento dos respondentes sobre o sistema construtivo inovador empregado e a opinião sobre o uso desse tipo de edificação. Os moradores que responderam que sabem que a casa foi construída com um sistema construtivo diferente (75%, margem de erro 8%) perfazem a maioria e 25% (margem de erro 8%) declararam que não tem essa ciência. A opinião dos moradores a respeito do sistema construtivo é, em sua maioria, positiva, entre "bom" (58%, margem de erro 11%) e "ótimo" (28%, margem de erro 10%) (Figura 20).

As questões sobre o **Manual de uso, operação e manutenção** pretenderam levantar o recebimento e a leitura do manual, o nível de compreensão desse material pelos respondentes, a qualidade do seu conteúdo e a capacidade dos respondentes em realizar os procedimentos de manutenção. Os moradores que declararam que receberam o manual de uso, operação e manutenção perfazem 78% (margem de erro 8%). Apesar disso, a leitura do manual de operação, uso e manutenção só foi realizada por 33% do total de 81 respondentes (margem de erro 10%) que declararam ter recebido o documento.

A pergunta seguinte, que versava sobre a capacidade de realizar os procedimentos de manutenção descritos no manual, só foi respondida por 27 moradores, número significativamente mais baixo do que os 81 respondentes que declararam ter lido o manual. Portanto, não se considerou adequado tentar inferir essas características para uma população maior.

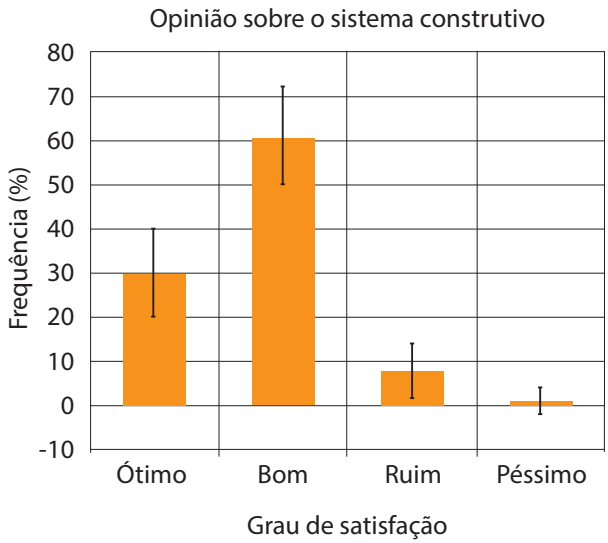


Figura 20. Opinião do morador a respeito do sistema construtivo.

A **Avaliação da assistência técnica** se deu por meio da Identificação de problemas construtivos, da forma de resolução dessas falhas, sobre o recebimento de assistência técnica e a avaliação desse serviço dentro da garantia pelos respondentes.

A **ocorrência dos problemas,** representada na Figura 21, mostra, em ordem de frequência, os subsistemas que mais apresentaram problemas na opinião dos respondentes, durante o uso da moradia.

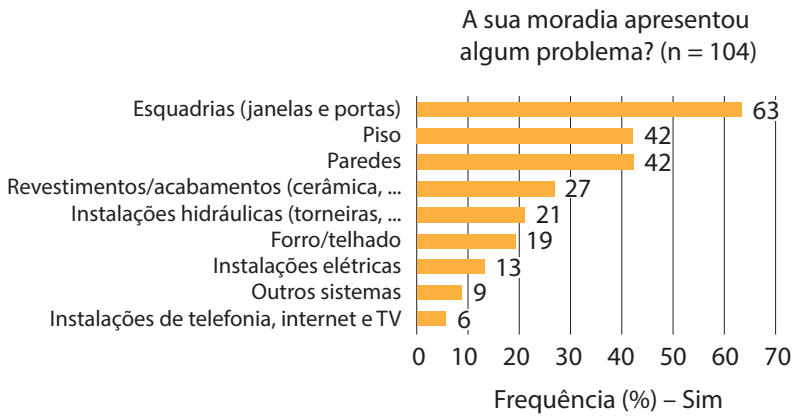


Figura 21. Frequência de problemas apontados na moradia.

Os problemas apontados com maior frequência pelos moradores entrevistados foram relativos às esquadrias (janelas e portas) com 64% (margem de erro 9%).

Outros problemas foram apontados nas paredes e pisos (42%, margem de erro 10%) das casas e nos revestimentos e acabamentos (27%, margem de erro 9%).

Em 87 (84%) das habitações de respondentes, houve pelo menos um problema manifestado em relação à moradia. Na maioria dos casos, os problemas relatados são de baixa complexidade e de simples resolução.

Seguem tabelas com as frequências das citações dos problemas, classificados por partes do sistema construtivo, considerando, além das respostas às perguntas específicas, o agrupamento e reclassificação das respostas abertas.

Os problemas em portas e janelas devido à falta de estanqueidade, em geral, pela entrada de água de chuva, foram encontrados com frequência de 50% nas respostas dos entrevistados. Outro problema recorrente das janelas foi o do emperramento das folhas. Outras reclamações aparecem com menor frequência de ocorrência, conforme pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1. Problemas encontrados em Portas/Janelas.

Problemas encontrados	Número de Citações	Citações / Total de Unidades
Entrada de água/Falta estanqueidade à água / Entra água pela porta	52	50%
Emperramento de folha - Janela	11	11%
Barulhenta/Com Trepidação/Estralam - Janela	5	5%
Fechadura de má qualidade/Acessório Frágil/ Trava não funciona	4	4%
Frágil/Quebras/Peça Quebrada/Vidro Frágil	4	4%
Não Escurecem o Ambiente	2	2%
Entra Vento/Falta estanqueidade ao ar	1	1%
Vidros soltaram	1	1%
Porta da cozinha cedeu	1	1%

A maior frequência de ocorrência de reclamações sobre o piso (Tabela 2) está relacionada à qualidade da placa utilizada, uma vez que os moradores apontaram problemas típicos de durabilidade da superfície, como manchas e desgastes e poucas reclamações com relação ao processo de execução, como aderência ou desnível.

Tabela 2. Problemas encontrados em Pisos.

Problemas encontrados	Número de Citações	Citações / Total de Unidades
Placas de "Má Qualidade": Manchas/Desgaste/ Descascado	27	26%
Placa Solta/Som Oco/Afundamento	8	8%
Desnível/Acúmulo de Água/ Acúmulo de Água na Calçada	7	7%
Infiltração/Umidade	5	5%
Rejunte Soltando	3	3%

As reclamações referentes às paredes (Tabela 3) estão eminentemente relacionadas à presença de umidade e bolor em sua superfície, além de trincas e fissuras.

Tabela 3. Problemas encontrados em Paredes.

Problemas encontrados	Número de Citações	Citações / Total de Unidades
Bolor/Umidade/Mofo/Infiltração	36	35%
Trinca/Rachadura/Fissura	10	10%
Descascado /Soltou Reboco	2	2%

As ocorrências de reclamações em instalações hidráulicas (Tabela 4) são menores do que nos demais tópicos apresentados acima, estando associadas eminentemente à qualidade dos componentes e não a falhas sistêmicas propriamente ditas.

Tabela 4. Problemas encontrados em Instalações Hidráulicas.

Problemas encontrados	Número de Citações	Citações / Total de Unidades
Vazamentos: chuveiro, caixa d´água, tanque, torneira da cozinha e local não especificado	13	13%
Defeitos em componentes: Registro, torneira do tanque, registro do *boiler*, vaso sanitário e não especificado	9	9%
Sistema de aquecimento de água: Chuveiro, aquecedor	3	3%
Barulho	1	1%
Pouca vazão de água no chuveiro	1	1%

Os problemas mais citados em forro/telhado foram as goteiras, que tanto podem ser decorrentes de quebra de telhas como de falhas de execução da cobertura, conforme pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5. Problemas encontrados em Forro/Telhado.

Problemas encontrados	Número de Citações	Citações / Total de Unidades
Goteira	15	14%
Telha Quebrada	5	5%
Bolor	1	1%
Trinca no Forro	1	1%

Os problemas citados nas demais instalações também apresentam baixa ocorrência (Tabela 6), destacando-se apenas a queda frequente de disjuntores (8,7%), cuja origem não pode ser determinada sem uma análise mais aprofundada.

Tabela 6. Problemas encontrados em Instalações Elétricas, Telefonia, Internet e TV.

Problemas encontrados	Número de Citações	Citações / Total de Unidades
Queda frequente de disjuntores	9	9%
Curtos-circuitos: em geral e especificado no poste de entrada	3	3%
Dificuldades em passar cabeamento	3	3%
Falta padrão na fiação	1	1%
Não tinha fio terra	1	1%
Desloca a caixa da tomada	1	1%
Outras	2	2%

Ainda sobre a avaliação da assistência técnica, foi realizada uma **análise do serviço,** quanto ao acionamento desse serviço pelos moradores. A grande maioria dos respondentes declarou que "não" acionou o serviço (80%, margem de erro 8%), contra 20% (margem de erro 8%) que o fizeram.

Dos 21 respondentes que acionaram a assistência técnica, a maioria classifica o atendimento como "péssimo" (57%) ou "ruim" (14%). Somente 28% avaliaram o serviço positivamente: como "ótimo" (14%) ou "bom" (14%) (Figura 22). Dos usuários que classificam o atendimento como

péssimo, a maioria das respostas (38%) está relacionada à qualidade do atendimento no geral. Das demais classificações, a opção "péssima" está relacionada ao tempo para responder a solicitação do serviço (5%), tempo para a realização do serviço (5%), qualidade do material utilizado (5%) e outros (5%).

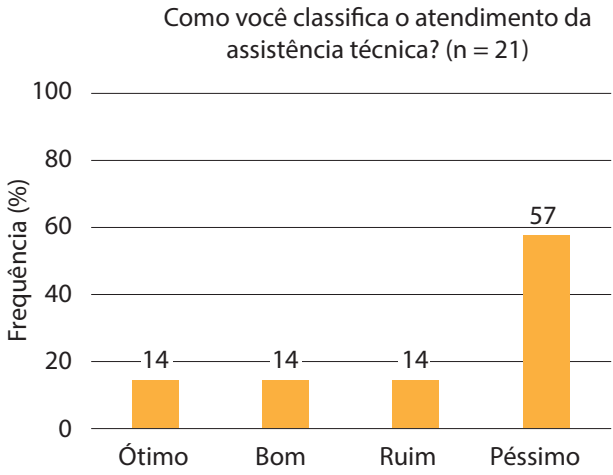


Figura 22. Qualidade do atendimento da assistência técnica.

Seja qual for o motivo, observa-se que os moradores buscam a solução dos problemas patológicos em suas moradias independentemente do acionamento da assistência técnica. Dos moradores entrevistados que declararam haver problemas em suas moradias, 48% tiveram os seus problemas resolvidos. Nessas moradias, os problemas foram resolvidos pelo próprio "usuário" em 69% dos casos, pela construtora/assistência técnica em 14% e por outros intervenientes em 17% dos casos, conforme pode ser visto na Figura 23.

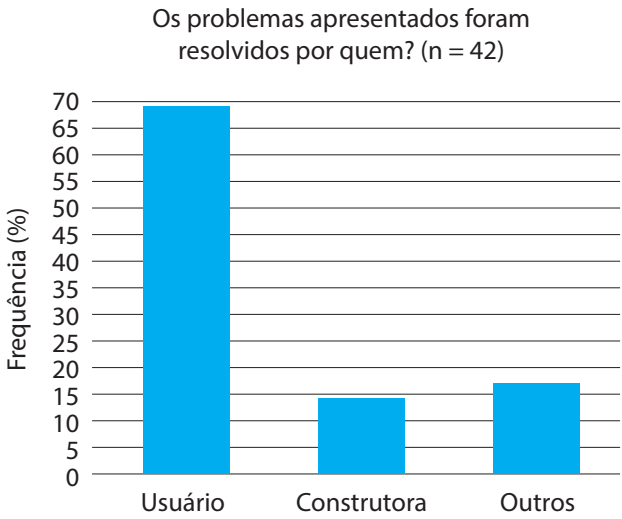


Figura 23. Agentes que resolveram os problemas.

3.1.1. Análise Cruzada das Respostas dos Moradores

A partir da análise cruzada das respostas dos moradores envolvendo o gênero, grau de escolaridade ou faixa etária, foi possível constatar que: não há dependência entre grau de satisfação dos respondentes com a moradia e o gênero do respondente; não há também relação de satisfação com grau de escolaridade ou faixa etária.

Foi encontrada dependência entre sexo do respondente e facilidade de instalar peças suspensas. Nesse item, 54% dos homens respondentes declararam a opção "boa" ou "ótima" e 70% das mulheres declararam "ruim ou péssima".

A análise cruzada das respostas no que diz respeito à **manifestação de desejo e realização de intervenção** na casa geraram resultados significativos quanto à essa relação. Dos 104 respondentes, 21 não planejam fazer intervenção na unidade ou no lote. Dentre esses 21 respondentes, 15 já fizeram alguma intervenção e apenas 6 não fizeram e não pretendem fazer qualquer tipo de intervenção. Dos que pretendem fazer alguma intervenção, apenas 7 declararam o desejo de intervir nos dormitórios. As demais intervenções dizem respeito à construção de garagem (36 com desejo de realizar e 24 já realizadas). Foram também relatados 22 planos de

intervenção na cozinha e 5 intervenções já realizadas nesse ambiente. Outros 48 respondentes declararam o desejo de construir uma cobertura (varanda) para a área de serviço e/ou atividades de lazer e 32 já o fizeram.

Intervenções em componentes como pias, tomadas, revestimentos, portas e janelas (elementos não estruturais) aparecem em 9 casos, já realizados, e 2 casos de desejo de troca de revestimento de piso.

Dos respondentes, 4 planejam ampliar área construída com edificação adicional (edícula ou sobrado) e outros 4, construir um banheiro adicional. Além disso, 4 respondentes já construíram uma edificação ou cômodo adicional.

Muros já foram construídos por 7 respondentes e grades foram instaladas por mais 2. Outros 7 declararam pretender construir muros.

Foi possível obter como resultado a **relação entre o recebimento do Manual, a leitura e o conhecimento do sistema construtivo** por parte dos respondentes. Dos 104 respondentes, 81 declararam que receberam o Manual de Uso, Operação e Manutenção da residência. Destes, apenas 27 responderam que leram o referido Manual.

Do total de 102 respondentes, 77 afirmaram saber que o sistema é diferente, dentre os quais somente 24 leram o Manual. Assim, grande parte dos residentes sabiam do sistema diferente, mesmo sem a leitura do Manual.

3.2. Entrevista com o Profissional de Assistência Técnica

A entrevista foi realizada com o profissional de assistência técnica por videoconferência e teve duração de uma hora e vinte minutos. Na sequência da entrevista, o profissional encaminhou o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) assinado digitalmente, conforme exigência do Comitê de Ética em Pesquisa.

A primeira parte da entrevista diz respeito ao empreendimento: nome, local, data de entrega e tipo de sistema construtivo. A segunda parte corresponde às funções desempenhadas e tempo de experiência do profissional. A terceira parte, por sua vez, é reservada para as questões sobre o processo de assistência técnica, a capacitação da mão de obra, a execução de serviços não planejados, os procedimentos necessários à prestação do serviço, o armazenamento das informações sobre os serviços realizados, os

reparos das áreas comuns, os reparos das unidades habitacionais, a qualidade do acesso às instalações, reservatórios e coberturas para as manutenções, se as manutenções foram preventivas ou corretivas.

A seguir, segue o resumo da entrevista:

O profissional entrevistado informou ser o responsável da construtora pela assistência técnica, trabalha na empresa há 10 anos e já exerceu várias funções, tais como: *gestão de obras, fiscalização da execução e aprovação de projetos perante prefeituras municipais e a CDHU, no caso de sistemas alternativos.*

Sobre o processo de prestação da assistência técnica, o profissional informou que a ação se inicia com o contato do mutuário com a assistente social da prefeitura (setor de serviço social e de engenharia). Se as falhas se tratassem de serviços de infraestrutura (postes, hidrômetro e muros, por exemplo), a responsabilidade pela assistência técnica era da prefeitura. A responsabilidade da construtora se restringia a aspectos construtivos da unidade familiar. Nesse último caso, o responsável, ao identificar o problema, marcava a visita de reparo /manutenção (sempre às quintas e sextas-feiras), e, em dois dias, realizava-se o serviço. Quando o morador estava impossibilitado de acompanhar o serviço dentro da residência, ele deixava a chave com o vizinho e o serviço era acompanhado pela assistente social da prefeitura. Quando o serviço era externo, não havia a necessidade de acompanhamento da prefeitura. Não houve a participação da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU) na manutenção, que foi responsável somente por fiscalizar a execução das casas. Os serviços de assistência técnica eram realizados por funcionários da empresa (paredes e estrutura) ou de subempreiteiras (instalações) que fizeram a parte das ligações hidráulicas, elétricas, pintura e cobertura. Para os serviços de pintura, por exemplo, foram contratadas quatro empresas. Assim, um contrato de prestação de serviços que previa a retenção de 3% a 5% do valor do serviço contratado era realizado com as empresas subcontratadas, para garantir a realização dos serviços de reparos pós-obra em caso de manutenção.

O profissional mencionou que a mão de obra para a assistência recebia **capacitação e treinamento** da empresa, mas não havia mão de obra específica para a assistência técnica, a qual era feita pela mesma equipe que executou a obra. Os profissionais são os mesmos e receberam treinamento da empresa para atender o Programa da Qualidade da Construção Habitacional

do Estado de São Paulo (QUALIHAB). Dentro da fábrica de painéis, é fornecido o treinamento para os funcionários (separados por serviços, como fôrma, armação, concretagem, revestimento e tubulações). Para os funcionários do transporte e montagem (solda, por exemplo), o treinamento era realizado no canteiro de obra. Os profissionais subcontratados receberam o treinamento no início do processo de construção, quando houve a contratação dos serviços das empresas terceirizadas.

Para a realização das atividades de assistência técnica, inicialmente **identificam-se as necessidades dos serviços** a partir do planejamento prévio, após a vistoria e identificação do problema, antes do deslocamento do profissional ao local. Tanto no caso de serviços planejados como não planejados, são seguidas as orientações do QUALIHAB para a aquisição de materiais e a lista de fornecedores de serviços e produtos qualificados da CDHU. A identificação de serviço não planejado ocorre no local, pelo profissional técnico, tal como a necessidade de um profissional do serviço hidráulico para executar um reparo na junção ou ligação, verificando se será preciso "abrir a parede". Nesse caso, é necessário agendar o serviço do pedreiro, inicialmente, e do profissional da hidráulica, posteriormente, para realizar o serviço do reparo hidráulico. Como etapa do processo de qualidade, após a montagem da 1ª unidade, foi realizada uma avaliação crítica sobre os resultados obtidos, a fim de verificar as compatibilidades de hidráulica, elétrica, vãos das esquadrias, etc.

Os **procedimentos para a prestação da assistência técnica** ocorreram somente durante a vigência do período de garantia do empreendimento. A inspeção e o serviço eram agendados junto à prefeitura que fazia o cadastro do solicitante. O serviço de assistência técnica não era realizado quando havia falhas no registro das informações sobre a unidade habitacional que gerou a ocorrência. A CDHU foi responsável pela fiscalização da construção realizada pelas empresas construtoras e pela prefeitura. O seguro que consta no contrato do morador com a CDHU é para resolver problemas, desde que dentro do prazo de garantia e cumprido os requisitos básicos, como a não realização de alterações na casa.

As **informações referentes à realização dos serviços de assistência técnica prestados eram registradas em planilhas**. Registravam-se e controlavam-se os serviços realizados e os não realizados; anotavam-se o motivo, como o caso de moradores que resolviam o problema por conta ou

os não encontrados no endereço informado. A prefeitura era comunicada dos serviços realizados ou não.

Os **principais reparos** que ocorreram foram a interligação entre o hidrômetro e a casa. No interior das unidades habitacionais, os principais reparos foram realizados nas instalações hidráulicas. Foram realizadas substituições em joelhos azuis rachados; reparos em paredes de banheiros e de tanques com colocação de fita firlon (veda rosca) em pontos nos quais elas eram ausentes e que geraram infiltração de água, além de substituição de vasos sanitários.

A **qualidade do acesso às instalações para manutenção,** como caixa d'água e cobertura, foi considerada adequada. O projeto elaborado pela CDHU prevê o acesso à caixa d'água. Quanto ao acesso aos materiais, mão de obra e equipamentos para manutenção das unidades habitacionais para situações fora da garantia, o morador deve consultar o manual. Nada é diferente do sistema convencional, tudo pode ser encontrado no mercado de construção. Não há fornecedores específicos porque a técnica é convencional. A parede é entregue pronta com as instalações embutidas – obras podem ser realizadas com materiais e mão de obra convencionais. Para situações de reforma, também se recomenda consultar o manual, em que constam as informações necessárias. As melhorias e ampliações na unidade habitacional devem observar o que consta no manual, podendo ser realizadas com sistema convencional.

3.3. Cruzamento das Informações do Questionário ao Morador com a Entrevista com o Profissional de Assistência Técnica

A partir dos resultados dos questionários aos moradores foi possível realizar um cruzamento com as informações do profissional de assistência técnica, como as alterações e os reparos realizados, o funcionamento das instalações hidráulicas e os reparos da assistência técnica, manutenção da casa e conhecimento sobre o serviço de assistência técnica e problemas nos principais subsistemas com os problemas resolvidos por outros agentes.

Sobre **as alterações realizadas pelos moradores e os reparos realizados pela assistência,** segundo informações obtidas em respostas ao questionário, verificou-se que as alterações foram realizadas pelos moradores

em aproximadamente 50% das moradias, mas os reparos citados na entrevista com o profissional de assistência técnica não encontram relação com problemas decorrentes das alterações na moradia. De acordo com esse profissional, quando alterações eram detectadas pelo serviço da assistência técnica, o morador perdia a garantia e os reparos não eram realizados. Assim, observa-se que as alterações realizadas pelo morador dentro do prazo de garantia podem prejudicar o registro real dos problemas que poderiam ser resolvidos pela assistência técnica.

Sobre o **funcionamento das instalações hidráulicas e os reparos da assistência técnica,** constatou-se que houve várias declarações de problemas feitas pelos moradores que podem estar relacionados às instalações hidráulicas (vazamentos, infiltrações, etc.), e o profissional responsável pela assistência técnica confirma a realização de vários reparos em tais instalações, incluindo obras que necessitaram a abertura de paredes.

A partir de dados sobre a **manutenção da casa e o conhecimento sobre o serviço de assistência,** verificou-se que a maioria dos moradores declarou que não faz manutenções na casa - o que poderia implicar em maior necessidade de reparos futuros, agravados pela baixa quantidade de pessoas que leu o manual e, portanto, desconhece a necessidade de realizar a manutenção ou mesmo a existência do serviço de assistência técnica.

Sobre os **problemas dos principais subsistemas declarados pelos moradores em relação ao serviço de assistência técnica e aos problemas resolvidos por outros agentes**, foi possível perceber que as esquadrias (portas e janelas), os pisos e paredes, os revestimentos/acabamentos e as instalações hidráulicas foram os elementos que mais apresentaram problemas. No entanto, isso não é devidamente confirmado pela assistência técnica, além daqueles relacionados às instalações hidrossanitárias.

A insatisfação com o atendimento do serviço de assistência técnica manifestada pelos moradores pode ser compreendida, por um lado, pela tramitação do processo, que tinha a prefeitura como intermediária, conforme descrito pelo responsável pela assistência técnica. Por outro lado, pode também haver a questão da perda do direito à garantia, devido às intervenções realizadas pelos moradores, que deixaram de ser atendidos, gerando também insatisfação.

4. Considerações Finais

A satisfação das necessidades dos usuários deve ser central nos programas habitacionais e deve ser igualmente considerada em empreendimentos construídos com sistemas construtivos inovadores. Para o Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Sistemas Inovadores e Convencionais – SiNAT, a incorporação sistemática de Avaliações Pós-Ocupação (APO) na homologação definitiva de tecnologias deve ser vista como um incremento importante aos testes laboratoriais e ensaios de desempenho técnico já exigidos (FABRICIO; ONO, 2015).

Uma dificuldade inerente à aplicação de Avaliações Pós-Ocupação como instrumento adicional de avaliação de sistemas construtivos inovadores é a impossibilidade de separar perfeitamente o sistema construtivo e o projeto específico da unidade.

A metodologia desenvolvida e aplicada conviveu com essa dificuldade e, de fato, a maioria das questões levantadas é resultante da interação entre estas duas instâncias: sistema construtivo e projeto da unidade habitacional. Mesmo assim, é possível utilizar os resultados para identificar potenciais problemas ou qualidades oriundas do sistema construtivo e a fim de desenvolver recomendações de projeto para utilização do mesmo sistema construtivo em futuros empreendimentos.

Com relação aos resultados do estudo realizado no caso relatado, a partir da manifestação dos moradores respondentes, verifica-se um bom índice de satisfação geral dos usuários com a residência e com o sistema construtivo empregado no caso estudado. Muitas questões apontadas, como a necessidade de realizar ampliação (Figuras 11 e 12) ou inadequação de tamanhos de alguns ambientes (cozinha - Figura 16 e área de serviço - Figura 18), são oriundas do projeto específico da residência e do modelo de provisão de habitação social, baseado em um projeto padronizado, quase sem diferenciações em função do tamanho, composição ou outras características das famílias. Nesse modelo padronizado, a única customização são as unidades adaptadas para famílias com pessoas com deficiência física.

Quando se considera o perfil heterogêneo das famílias, que apresentam variações expressivas entre o número de residentes na unidade (ver Figura 7) e na composição familiar com ou sem crianças (Figuras 8 e 9), além de um

menor grau, mas ainda relevante, de variação na escolaridade das famílias atendidas, fica clara a necessidade de modificações no projeto para acomodar as necessidades específicas de cada família atendida. Essa questão fica mais evidente quando se considera que quase metade dos moradores já realizou alterações na residência (Figura 11) e que 88% dos moradores planejam realizar alterações na casa (Figura 12).

Com relação a itens diretamente associados ao sistema construtivo, embora possam também ser influenciados pelo projeto, destacam-se problemas relacionados a acabamentos e subsistema complementares, com relato de problemas de piso em 42% das entrevistas, problemas relacionados às paredes, também em 42% dos casos, revestimentos/acabamentos (27%), instalações hidráulicas (21%), forro/telhado (19%) e instalações elétricas (13%). Soma-se a isso, uma grande insatisfação com o processo de assistência técnica, cuja responsabilidade, na percepção dos usuários, é difusa entre construtora, prefeitura municipal e companhia estadual que promoveu o empreendimento.

De fato, a assistência técnica pode ser muito aprimorada nos programas habitacionais, não só para corrigir os problemas encontrados em uso, mas também para sistematizar as ocorrências e investigar as causas com vistas a ações preventivas, a fim de aprimorar os sistemas construtivos e os futuros projetos habitacionais.

Com relação à metodologia de Avaliação Pós-Ocupação desenvolvida para sistemas construtivos inovadores, destaca-se que ela se mostrou capaz de identificar pontos de satisfação com o sistema construtivo e com o projeto específico e evidenciar problemas recorrentes para serem investigados e avaliados tecnicamente por profissionais especializados e eventualmente por ensaios e inspeções, atendendo, portanto, o objetivo proposto no desenvolvimento da metodologia.

Em relação à aplicação do instrumento denominado "Questionário ao Morador" por meio de plataforma digital em substituição aos formulários físicos no processo de coleta de dados, é possível afirmar que tal alternativa foi considerada válida por agilizar e automatizar a tabulação dos dados. E ainda, por meio da plataforma digital, foi possível manter os dados, como horário de início e término, nome do responsável pela aplicação do

questionário, endereço, coordenadas (não utilizadas), para futuras revisões e memoriais de pesquisa, sendo uma recomendação para replicação do estudo em outros campos.

Referências

FABRICIO, M.M.; ONO, R. (Orgs.). **Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras:** Manutenção e Percepção do Usuário. Porto Alegre: ANTAC / Caboverde, 2015. v.1, 159 p. DOI: http://dx.doi.org/10.4322/978-85-89478-42-7

ONO, R. et al. Avaliação Pós-Ocupação: pré-teste de instrumentos para verificação do desempenho de empreendimentos habitacionais em sistema construtivos inovadores. **Gestão & Tecnologia de Projetos.** São Carlos: Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. v.10. n1. 2015. pp. 64-78. DOI: http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v10i1.88979

ORNSTEIN, S.W.; ONO, R.; OLIVEIRA, F.L. Em busca da qualidade na habitação social no Brasil: instrumentos para a Avaliação Pós-Ocupação (APO) aplicada a sistemas construtivos inovadores. **Anais...** 4º CONGRESSO INTERNACIONAL DA HABITAÇÃO NO ESPAÇO LUSÓFONO. Covilhã, Universidade Beira Interior, 2017. p. 49-60.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-5953-029-2.2017C0011.p.293-304

Avaliação Pós-Ocupação em Sistemas Construtivos Inovadores: Considerações Finais

11

Sheila Walbe Ornstein
Márcio Minto Fabricio
Rosaria Ono
Fabiana Lopes de Oliveira
Mena Cristina Marcolino Mendes
Lucas Melchiori Pereira
Miguel Antonio Buzzar

1. A APO e a Avaliação Integrada de Desempenho de Sistemas Construtivos

O histórico de inovações tecnológicas observado na indústria da construção civil brasileira é orientado para a redução de custos e agilidade na produção das edificações (REZENDE; BARROS; ABIKO, 2002). Essas inovações são muitas vezes adotadas em detrimento de melhorias nas condições de uso e manutenção das edificações produzidas (BONIN, 1998). O conflito entre os interesses de produção e a qualidade do produto está presente, particularmente na produção de Habitações de Interesse Social, na qual programas governamentais, como o Minha Casa Minha Vida – MCMV, ou o programa da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano – CDHU, do Estado de São Paulo, subsidiam habitações padronizadas de baixo custo para uma população de baixa renda.

Apesar do avanço institucional representado pelo SiNAT/PBQp-Habitat/Ministério das Cidades, algumas lacunas importantes ainda foram verificadas. A primeira delas está relacionada à adequação do SiNAT à Norma Técnica NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013) e aos novos parâmetros de desempenho impostos à produção

habitacional brasileira. Uma segunda questão importante gira em torno do fato de os procedimentos do SiNAT estarem predominantemente vinculados à realização de ensaios técnicos para avaliação da segurança e desempenho dos componentes e do sistema construtivo em laboratório; assim, ainda é dada pouca atenção ao sistema construtivo em uso real e à percepção dos usuários sobre o seu desempenho.

O conteúdo deste capítulo se refere a uma parte do projeto que desenvolveu uma metodologia para a avaliação de desempenho em uso de sistemas construtivos inovadores, tendo como procedimentos metodológicos básicos aqueles preconizados na Avaliação Pós-Ocupação – APO. Apresenta conclusões e considerações sobre o projeto, cujos resultados da aplicação dos instrumentos em campo são apresentados nos Capítulos 8 a 10.

Desde os anos 1980, a APO vem sendo desenvolvida no Brasil do ponto de vista metodológico, com foco acadêmico. O principal estudo de caso abordado ao longo desse período, sobretudo no âmbito dos Programas de Pós-Graduação e de Graduação das Escolas de Arquitetura e Urbanismo e de Engenharia de Universidades públicas, é o da Habitação de Interesse Social – HIS (ROMÉRO; ORNSTEIN, 2003; ORNSTEIN; ONO, 2010). Isso se deve ao imenso parque habitacional destinado à população de baixa renda, construído por meio de programas habitacionais públicos nas cidades brasileiras de porte médio e grande, a maioria dos quais apresentando baixa qualidade construtiva. Trata-se de um processo histórico que vem ocorrendo nos últimos 40 anos (BONDUKI, 2014) e que na última década é fortemente impactado pelo volume de produção do programa federal Minha Casa, Minha Vida (BRASIL, 2016b). Tal programa representa alguns avanços em termos de acesso a diferentes faixas de baixa renda, mas continua operando na lógica histórica de produção em massa de habitações padronizadas, com forte expansão e impacto nas periferias das cidades (CARDOSO, 2013; CARVALHO; SHIMBO; RUFINO, 2015), afora sua lógica operacional, na maioria das vezes, seguir uma ótica empresarial (SHIMBO, 2012).

Diversos autores têm apontado a necessidade de revisão do processo de projeto a partir de um conhecimento mais profundo sobre o desempenho em uso desses empreendimentos habitacionais, com destaque para a verificação do ponto de vista e da percepção do usuário morador (KOWALTOWSKI; GRANJA, 2011; BONATTO; MIRON; FORMOSO, 2011; BERR et al., 2015; MONT´ALVÃO; VILLAROUCO, 2011). Em que pese o grande avanço dos estudos e pesquisas sobre APO em termos de procedimentos

metodológicos, tendo-se em mente a qualidade no processo de projeto, produção, uso, operação e manutenção de ambientes construídos, especialmente no caso da habitação social (ABIKO; ORNSTEIN, 2002; FABRICIO; ORNSTEIN, 2010; ORNSTEIN; ONO, 2010; RHEINGANTZ et al., 2009; VILLA; ORNSTEIN, 2013; VILLA; SARAMAGO; GARCIA, 2015; LAY; REIS, 2005), pouco dessa expertise foi efetivamente aplicada às políticas públicas e à prática profissional no âmbito habitacional no Brasil, como ocorreu em outros países (MOHIT; NAZYDDAH, 2011; JANSEN, 2012). Nessa perspectiva, uma parte do projeto INOVATEC-FINEP se propõe a fazer uma ponte metodológica entre os instrumentos de APO específicos para a avaliação em uso de conjuntos habitacionais produzidos com sistemas construtivos inovadores e aqueles instrumentos aplicados de forma mais convencional, nas últimas décadas (FABRICIO, ONO, 2015).

A relevância desse tipo de avaliação (APO) com desdobramentos (diagnósticos e recomendações) em todas as etapas da produção e da manutenção e operação das edificações, desde a realimentação das atividades pré-projeto (edificações e empreendimentos semelhantes) até a gestão (uso, operação e manutenção) dos empreendimentos em uso, já foram reiteradamente enfatizadas por autores como Finch (2012), Lawson (2011), Mallory-Hill, Preiser e Watson (2012) e Weilin et al. (2013).

Martucci e Basso (2002) apresentam especificamente o estudo pioneiro de Avaliação de Desempenho e Pós-Ocupação em sistemas construtivos inovadores, a partir de uma visão integrada, que considera o processo de produção, o uso e a inserção urbana desses sistemas. O projeto INOVATEC-FINEP colaborou com o desenvolvimento de um método integrado de avaliação, composto por instrumentos padronizados (checklists para vistorias técnicas, roteiros para entrevistas, formulários para questionários e outros), na medida em que promoveu o debate sobre os instrumentos com especialistas, em um ambiente interdisciplinar, e aplicou pré-testes a partir dos quais os instrumentos foram aprimorados, em um procedimento de "meta-avaliação" (ONO et al. 2015), bem como procurou inovar ao máximo os procedimentos de levantamento de campo. Exemplo disso foi a aplicação de questionários aos moradores por meio do uso de tablets para a racionalização dessa etapa da pesquisa.

À luz dos requisitos determinados pela NBR 15575 (ABNT, 2013), foi desenvolvido um sistema dedicado à realização de Avaliações Pós-Ocupação (APO), que parte da experiência obtida na aplicação e desenvolve recursos

específicos para a avaliação. O desenvolvimento desse sistema contou com o apoio dos recursos da FINEP, dentro do projeto INOVATEC. O sistema dedicado é mais específico para realização de APO e poderá ser disponibilizado gratuitamente para Instituições de Avaliação Técnica – ITA/SiNAT, ou pesquisadores interessados.

As avaliações técnicas no âmbito do Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Sistemas Inovadores e Convencionais – SiNAT, são de grande importância para garantir padrões mínimos de segurança e qualidade aos usuários dos sistemas construtivos. Porém, é preciso admitir que a habitação se configura em uma forte interação entre usuário, sistema construtivo, projeto e cidade. Assim, o desempenho durante o uso também deve ser acompanhado e avaliado com o objetivo de compreender o comportamento, as necessidades e expectativas dos usuários/moradores em relação à moradia. Nesse contexto, a Avaliação Pós-Ocupação é entendida como uma etapa de gestão da qualidade do processo de projeto por considerar a visão do usuário e do especialista, com o objetivo de subsidiar programas de manutenção, uso e operação (ORNSTEIN; ONO; OLIVEIRA, 2017).

O grande desafio desta pesquisa foi propor um conjunto de instrumentos de Avaliação Pós-Ocupação que pudesse contribuir para o aprimoramento do método de avaliação de sistemas construtivos inovadores, considerando o desempenho das edificações habitacionais ao longo de sua vida útil, durante seu período de uso/ocupação, na qual sofre manutenções preventivas e corretivas, assim como adequações às necessidades dos usuários (ampliações e reformas).

Esse desafio é particularmente complexo porque o desempenho em uso depende da interação entre sistema construtivo, projeto da unidade habitacional e seu uso. Assim, os resultados de uma APO não podem ser associados direta e unicamente ao desempenho do sistema construtivo, sendo resultado acumulado de várias etapas do ciclo de vida da unidade. Entretanto, os procedimentos metodológicos de APO propostos permitem avaliar a interação do sistema construtivo em uso real e apontar questões para serem avaliadas e, eventualmente, investigadas em profundidade pelas ITAs responsáveis pelo acompanhamento do sistema construtivo. Assim, a abordagem metodológica proposta complementa o sistema de avaliação técnica vigente, estendendo a avaliação para fase de uso e operação do sistema construtivo.

Os procedimentos aqui mencionados compreenderam seis instrumentos integrados de pesquisa, conforme a Figura 1, a seguir.

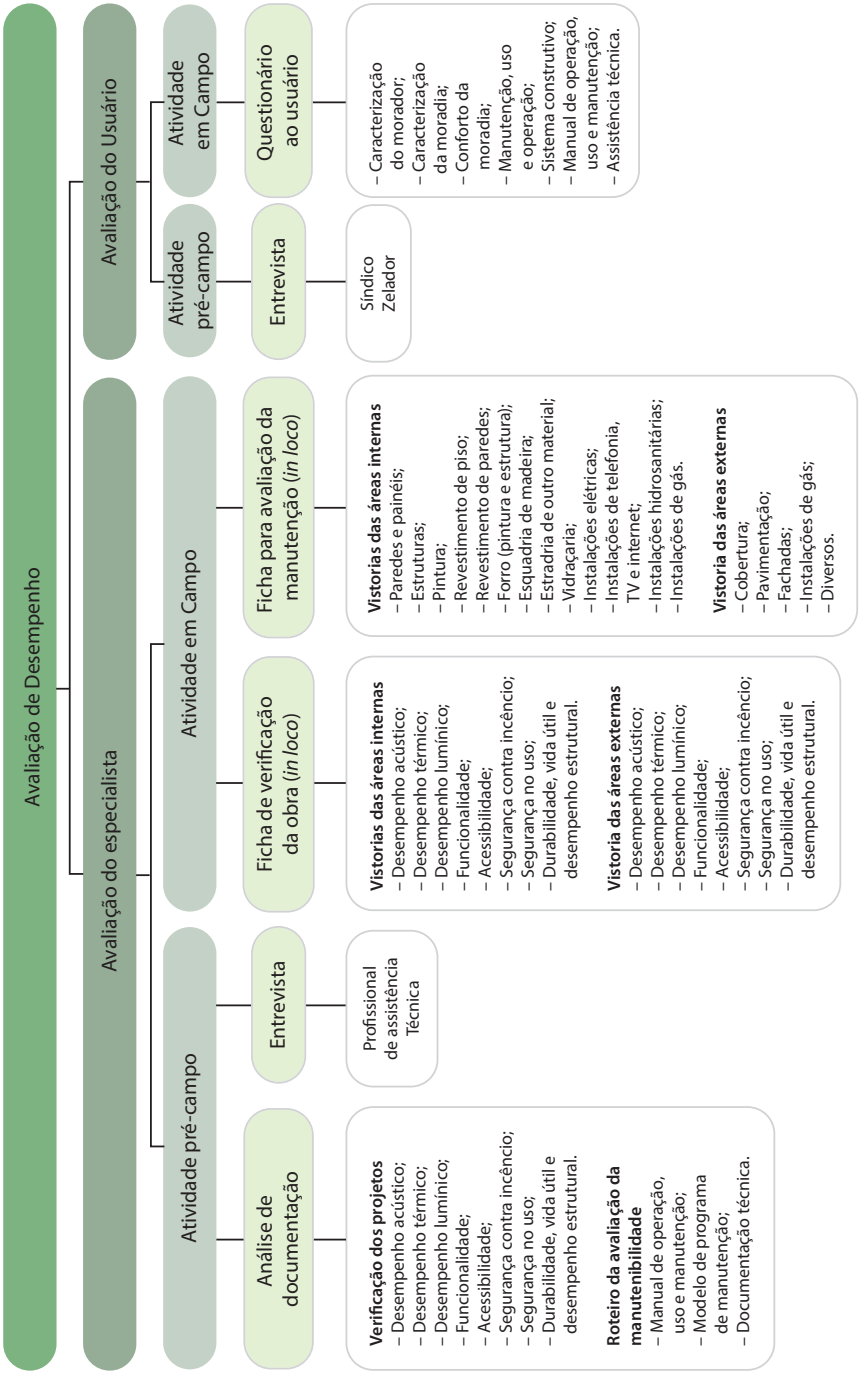


Figura 1. Método Integrado de Avaliação de Desempenho Pós-Ocupação de Sistemas Construtivos Inovadores.

Os instrumentos retratados na figura anterior, com exceção das entrevistas com síndico/zelador, que não foram realizadas porque o empreendimento estudado não estava constituído como condomínio, foram aplicados em um estudo de caso, cujos resultados foram apresentados nos capítulos 8 a 10 e a partir do qual foi possível concluir principalmente que:

- Os instrumentos, em geral, cumpriram o seu papel, permitindo uma avaliação compreensiva do desempenho das unidades habitacionais;
- Há um número considerável de itens de avaliação que são marcados como *não se aplicam* ao estudo de caso, devido às características construtivas e organizacionais do empreendimento. Fato que reforça a necessidade de adequar todos os instrumentos de avaliação a cada estudo de caso;
- Recomenda-se que outros sistemas construtivos no âmbito do SiNAT/ PBQp-Habitat sejam testados com esses instrumentos avaliativos, para verificar as peculiaridades construtivas encontradas em outros campos de pesquisa e em contextos regional, climático e cultural diferentes, a fim de ampliar as discussões sobre a necessidade de refinamento do método ou elaborar um formato adaptado para cada caso específico;
- Percebe-se que seria mais adequado dividir os instrumentos entre aqueles destinados a empreendimentos horizontalizados (residências unifamiliares) e aqueles relativos a empreendimentos verticalizados, já que as áreas comuns, em cada caso, são bastante distintas;
- Os profissionais, para aplicar a avaliação, deverão receber manual explicativo dos procedimentos a serem adotados em campo, tanto no contato com as pessoas chave e com os moradores, como nas vistorias técnicas. Além disso, seria oportuna a realização de capacitação técnica com vistas à realização de tal atividade. Esse treinamento poderia ser presencial ou à distância e deveria ter curto prazo;
- Há falhas na apresentação das documentações técnicas para avaliação do projeto e da manutenibilidade das unidades habitacionais. A documentação fornecida foi insuficiente em muitos casos, dificultando a aplicação de outros instrumentos por falta de informações sobre o sistema construtivo e detalhes do projeto, assim como sobre os procedimentos de manutenção;
- As respostas dos moradores quanto aos problemas construtivos (manifestações patológicas) encontrados na unidade habitacional reforçam os resultados das avaliações "in loco" realizadas pelos especialistas. No entanto, é relevante destacar a importância do contato com os moradores, seja durante a aplicação do questionário ou da avaliação "in loco", pois importantes informações de usuários foram registradas pelos especialistas nessas ocasiões;

- Dos problemas encontrados no caso analisado, em particular, muitos são falhas sistemáticas geradas, aparentemente, pela baixa qualidade de alguns elementos construtivos empregados na habitação, como as esquadrias metálicas, as portas internas de madeira e o piso cerâmico nos banheiros. O sistema construtivo em si é robusto e apresentou poucas falhas sistemáticas;
- Os sistemas convencionais não são objetos de avaliação técnica, exceto as interfaces desses sistemas com o inovador, devendo-se conferir a essa interface uma maior atenção durante o projeto e a execução;
- Uma das questões levantadas pelos moradores se refere ao conforto térmico, pois a região em que o empreendimento está implantado apresenta temperaturas elevadas em grande parte do ano. No entanto, a documentação de projeto e da análise de desempenho do sistema construtivo é satisfatória em relação a esse requisito. Desta forma, observa-se que possivelmente os critérios de conforto térmico não estejam adequados para a região em questão;
- A orientação e a implantação dos empreendimentos não são preocupação ou responsabilidade da empresa construtora/proponente, visto que não se trata de um pré-requisito solicitado pela Companhia contratante do sistema construtivo. Entretanto, deve ser um requisito a ser fortemente considerado com intuito de favorecer o conforto térmico nas habitações;
- Verificou-se que o perfil dos moradores é muito variado, porém as famílias em geral não são numerosas. No entanto, parece haver uma incompatibilidade entre o projeto e as necessidades dos moradores. Os próprios moradores questionaram as pequenas dimensões do terceiro dormitório, muitas vezes utilizado como depósito, e se mostraram também pouco satisfeitos quanto à dimensão reduzida da cozinha. Desta forma, verifica-se que oferecer um dormitório adicional não parece ser a melhor solução de projeto para garantir o bem-estar e a satisfação dos moradores com a residência;
- A utilização inadequada da instalação de gás é um problema grave, porém, aparentemente, decorre da falta de informação de muitos dos moradores sobre o funcionamento do sistema. Por outro lado, vários moradores levantaram outras questões relativas a esse item, como o risco de furto dos botijões deixados no abrigo ou a posição da saída do gás, ao lado da porta, considerada inadequada para o uso do fogão (a chama se apaga com o vento e aumenta o consumo);
- Não há, ainda, entre os moradores, a cultura da manutenção preventiva e também o cuidado na leitura e conservação do Manual de Uso, Operação e Manutenção da edificação. Verificou-se que poucos deram importância ao Manual, assim como quase nenhum morador realiza manutenção preventiva;

- Considera-se como procedimento essencial a adoção por parte dos moradores dos conteúdos do Manual de Uso, Operação e Manutenção, com vistas à durabilidade da edificação e de seu sistema construtivo como um todo. Assim, o Manual deve apresentar sempre informações técnica corretas, porém de forma bastante amigável e acessível; sobretudo, em relação à funcionalidade dos ambientes e às futuras adaptações, que são pouco detalhadas no Manual do Proprietário;
- O serviço de Assistência Técnica foi mal avaliado e verificou-se que não há clareza, entre os moradores, de como acionar esse serviço, havendo uma responsabilidade difusa entre as partes envolvidas (Governo Estadual, Prefeitura e Construtora);
- O não recebimento da Assistência Técnica é agravado pela perda da garantia, seja pelo tempo de uso da casa ou de modificações, seja devido a adaptações e ampliações feitas pelo morador;
- O empreendimento é notório pela tecnologia construtiva empregada, reconhecida pelos moradores, porém não fornece segurança patrimonial, privacidade, limpeza pública e equipamentos comunitários condizentes;
- A gestão dos espaços comunitários e o fortalecimento das associações de bairro como uma extensão do serviço social prestado pelo serviço público poderiam melhorar a adaptação dos moradores ao local;
- A recomendação é de que a APO deve ser aplicada ao menos no empreendimento habitacional piloto com sistema construtivo inovador e, por amostragem, periodicamente nos empreendimentos habitacionais subsequentes implantados com o mesmo sistema, como procedimento de gestão e monitoramento da qualidade

2. Considerações Finais

Há a necessidade de avaliação continuada de políticas públicas para o incremento da qualidade das habitações e dos empreendimentos. Como exemplos de procedimentos metodológicos para a implementação de avaliações no caso do PMCMV, tem-se os estudos de Villa, Saramago, Garcia (2015) e Carvalho, Shimbo e Rufino (2015). Tais pesquisas, porém, são limitadas em relação ao tempo, pois não há um balanço amplo sobre os programas habitacionais colocados em prática nos últimos 12 ou 13 anos. Algumas conclusões podem ser obtidas a partir do balanço realizado para a Faixa 1 (até 3 salários-mínimos) do PMCMV pelo Ministério da

Transparência, Fiscalização e Controladoria-Geral da União (BRASIL, 2016a).

É fundamental a aplicação de APOs em empreendimentos-piloto que empregam sistemas construtivos chamados inovadores, antes da construção em escala. Implementações-piloto deveriam existir, em fase anterior, para que sejam viáveis os aperfeiçoamentos no sistema construtivo, nas condições de conforto ambiental, de segurança, funcionalidade e acessibilidade, antes da replicação da mesma tipologia arquitetônica, construtiva e urbanística em um formato padronizado nas distintas regiões do país. Os pareceres das ITAs no SiNAT hoje analisam, essencialmente, os projetos dos sistemas construtivos por meio de uma avaliação pré-projeto, porém o presente trabalho objetivou demonstrar que a APO pode oferecer informações relevantes sobre a qualidade do projeto sob o ponto de vista do desempenho em uso.

As políticas habitacionais deveriam considerar uma melhor integração entre o projeto de urbanização da área e a implantação da unidade no lote. Todos os agentes deveriam participar do processo, desde os projetistas, o fabricante/construtor do sistema construtivo inovador e das unidades habitacionais e, também, aqueles responsáveis pela urbanização. Moradia e cidade devem ser pensadas de forma conjunta, sem a ruptura verificada entre a unidade habitacional e o lote e entre o lote e a quadra/cidade.

Esta pesquisa procurou trazer contribuições no sentido de otimizar também a implementação de fichas de verificação acerca do desempenho físico das unidades habitacionais e promover a facilitação da aplicação de questionários junto aos moradores para medição de satisfação por meio de uso de tablets e de aplicativos, gerando rotinas para simplificar a aplicação de APO por profissionais treinados em empreendimentos que envolvam sistemas construtivos inovadores.

A pesquisa ainda demonstrou que as fichas de verificação sobre o desempenho das unidades/empreendimentos, assim como os questionários para medição de satisfação dos usuários, devem permitir alguma flexibilidade quanto a temas e tópicos a serem incorporados, já que contextos urbanos, empreendimentos e sistemas construtivos das unidades, com muita frequência, apresentam diferenças entre si.

Entende-se que, para a Avaliação Pós-Ocupação, deve-se proceder a (1) análise dos documentos e projetos arquitetônicos e urbanísticos, seguidas

de (2) entrevistas com pessoas chaves, como o arquiteto, o profissional de assistência técnica, os responsáveis técnicos dos gestores públicos envolvidos (estaduais e municipais, por exemplo), e síndicos e ou líderes comunitários locais, as quais devem ser o ponto de partida para o planejamento das ações relativas ao levantamento de campo. Já o levantamento de campo, se possível, deve ter início com a (3) aplicação das fichas de vistorias técnicas. Os subsídios técnicos extremamente bem fundamentados, obtidos a partir dos itens anteriores (1), (2) e (3), fornecerão forte respaldo para a (4) aplicação dos questionários e seus eventuais ajustes em relação à versão padrão.

Entende-se ainda que os procedimentos de APO aqui recomendados são aqueles essenciais (mínimo) para a avaliação de desempenho em uso de empreendimentos com as características indicadas nesta pesquisa.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575:** Edificações Habitacionais – Desempenho Partes 1 a 5. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2013.

ABIKO, A.K.; ORNSTEIN, S.W. (Orgs.). **Inserção Urbana e Avaliação Pós-Ocupação (APO) da Habitação de Interesse Social.** São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo/Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2002. 373p. Diponível em: http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/92.pdf . Acesso em: 9 jan. 2017.

BERR, L.R. et al. Indicador de falhas de qualidade baseado na percepção dos usuários de habitação de interesse social. **Ambiente Construído.** Porto Alegre: ANTAC, v. 15, n. 4. 2015. pp. 19-35. Disponível em http://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/54219. Acesso em: 9 jan. 2017.

BONATTO, F.S.; MIRON, L.I.G.; FORMOSO, C.T. Avaliação de empreendimentos habitacionais de interesse social com base na hierarquia de valor percebido pelo usuário. **Ambiente Construído** (Online), v. 11, p. 67-83, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/ac/v11n1/a06v11n1.pdf. Acesso em: 2 abr. 2017.

BONDUKI, N.G. **Pioneiro da habitação social**. Cem anos de construção de política no Brasil. São Paulo: Editora UNESP e Edições SESC. 2014. 387p

BONIN, L.C. Considerações sobre a utilização do conceito de desempenho como instrumento para a modernização tecnológica na construção de edificações. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 7º. **Anais…** Florianópolis: [s.n.]. 1998.

BRASIL. Ministério da Transparência, Fiscalização e Controladoria-Geral da União. **Relatório de Avaliação da Execução de Programa de Governo Nº 65** – Integralização de Cotas ao Fundo de Arrendamento Residencial – FAR (PPA 2011/2015). Brasília, 2016a.

CARDOSO, A.L. (Org.) **O programa Minha Casa Minha Vida e seus efeitos territoriais/**Adauto Lucio Cardoso (org.). Rio de Janeiro: Letra Capital, 2013. 322 p.

CARVALHO, C.S.A.; SHIMBO, L.Z.; RUFINO, M.B.C. (Orgs.). **Minha casa... e a cidade?** Avaliação do Programa Minha Casa Minha Vida em seis estados brasileiros. 1. ed. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2015. v. 1. 428p .

FABRICIO, M.M.; ONO, R. (Orgs.). **Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras**: Manutenção e Percepção do Usuário. Porto Alegre: ANTAC/ Caboverde, 2015. v. 1, 159 p. DOI: http://dx.doi.org/10.4322/978-85-89478-42-7

FABRICIO, M.M.; ORNSTEIN, S.W. **Qualidade no Projeto de Edifícios.** São Carlos: RIMA, ANTAC, 2010. 261p.

FINCH, E. (ed.). **Facilities Change Management.** UK: Wiley-Blackwell, 2012. 202p.

JANSEN, S.J.T. Why is Housing Always Satisfactory? A Study into the Impact of Preference and Experience on Housing Appreciation. **Social Indicators Research**, v. 113, n. 3, pp. 785-805, 2012. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s11205-012-0114-9.

KOWALTOWSKI, D.C.C.K.; GRANJA, A.D. The concept of desired value as a stimulus for change in social housing in Brazil. **Habitat International**, v. 35, n. 3, pp. 435-446, jul. 2011.

LAY, M.C.; REIS, A. Análise quantitativa na área de estudos ambiente-comportamento. **Ambiente Construído,** Porto Alegre, v. 5, n. 2, pp. 21-35, abr./jun. 2005.

LAWSON, B. **Como arquitetos e designers pensam.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 296p.

MALLORY-HILL, S.; PREISER, W.F.E.; WATSON, C. **Enhancing Building Performance** (eds.). UK: Wiley-Blackwell, 2012. 330p.

MARTUCCI, R.; BASSO, A. Uma visão integrada da análise e avaliação de conjuntos habitacionais: aspectos metodológicos da pós-ocupação e do desempenho tecnológico. In: ABIKO, A.K; ORNSTEIN, S.W. (eds.) **Inserção Urbana e Avaliação Pós-Ocupação (APO) da habitação de interesse social.** São Paulo: FAUUSP, 2002. (Coletânea Habitare/ Finep, 1), p. 269-293.

MOHIT, M.A.; NAZYDDAH, N. Social housing programme of Selangor Zakat Board of Malaysia and housing satisfaction. **Journal of Housing and the Built Environment,** v. 26, n. 1, pp. 123-142, 2011. http://www.jstor.org/stable/41261676 . Acesso em: 2 jul., 2017.

MONT`ALVÃO, C.; VILLAROUCO, V. (Orgs.). **Um novo olhar para o projeto. A ergonomia no ambiente construído**. Teresópolis, RJ: 2AB, 2011. 183p.

ONO, R. et al. Avaliação Pós-Ocupação: pré-teste de instrumentos para verificação do desempenho de empreendimentos habitacionais em sistema construtivos inovadores. **Gestão de Tecnologia & Projeto.** São Carlos: Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. v. 10, n. 1, 2015. pp. 64-78. DOI: http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v10i1.88979

ORNSTEIN, S.W.; ONO, R.; OLIVEIRA, F.L. Em busca da qualidade na habitação social no Brasil: instrumentos para a Avaliação Pós-Ocupação (APO) aplicada a sistemas construtivos inovadores. **Anais...** 4º CONGRESSO INTERNACIONAL DA HABITAÇÃO NO ESPAÇO LUSÓFONO. Covilhã, Universidade Beira Interior, 2017. p. 49-60.

ORNSTEIN, S.W.; ONO, R. Post-Occupancy Evaluation and design Quality in Brazil: concepts, approaches and an example of application. **Architectural Engineering and Design Management.** v. 6, pp. 48-67, 2010.

REZENDE, M.A.P.D.; BARROS, M.M.S.B.D.; ABIKO, K. Barreiras e facilitadores da inovação tecnológica na produção de habitações populares. in: Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído Artigo Técnico, 9. Foz de Iguaçu. **Anais...** ENTAC. 2002. p. 895-904. Disponivel em: http://www.iau.usp.br/pesquisa/grupos/arquitec/entac/2002/Artigos/ENTAC2002_0895_904.pdf . Acesso em: 25 out. 2014.

RHEINGANTZ, P.A. et al. **Observando a qualidade do lugar.** Procedimentos para a Avaliação Pós-Ocupação. Rio de Janeiro: PROARQ, FAU UFRJ, 2009. 117p. Disponível em: http://www.gae.fau.ufrj.br/assets/obs_a_qua_lugar.pdf. Acesso em: 2 jul. 2017.

ROMÉRO, M.A.; ORNSTEIN, S.W. **Avaliação Pós-Ocupação. Métodos e Técnicas aplicados na Habitação Social.** Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2003. 294p. Disponível em: www.habitare.org.br/publicacao_colecao1.aspx. Acesso em: 9 jan. 2017.

SHIMBO, L. **Habitaçao Social de Mercado:** Confluência entre Estado, Empresas Construtoras e Capital Financeiro. São Paulo: C/Arte, 2012.

VILLA, S.B.; ORNSTEIN, S.W. **Qualidade ambiental na habitação.** Avaliação Pós-Ocupação. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 400p.

VILLA, S.B.; SARAMAGO, R.C.P.; GARCIA, L.C. **Avaliação Pós-Ocupação no Programa Minha Casa Minha Vida**. Uma Experiência Metodológica. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia. 2015. Disponível em: https://morahabitacao.files.wordpress.com/2015/07/os-014631-proex-ufu-livro-sangria-lu.pdf. Acesso em: 17 nov., 2016.

WEILIN, S. et al. The user pre-occupancy evaluation method in designer – client communication in early design stage: A case study. **Automation in Construction.** v. 32, july 2013. pp. 112-124. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580513000241. Acesso em: 16 abr. 2017.

Sites consultados

BRASIL. Programa Minha Casa Minha Vida. Disponível em: www.minhacasaminhavida.gov.br. 2016b. Acesso em: 22 dez. 2016.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-5953-029-2.2017C0012.p.305-348

Bambu como Material de Engenharia | 12

Khosrow Ghavami
Normando Perazzo Barbosa
Luis Eustáquio Moreira

1. Introdução

Pelo fato de ser um material renovável, que absorve gás carbônico e usa energia solar, ser facilmente reincorporado à natureza após seu ciclo de vida, crescer com facilidade e rapidamente e possuir espécies que apresentam excelentes propriedades de engenharia, o bambu, planta milenar, pode ser chamado, nessa época de preocupações com a sustentabilidade, de um material para o século XXI. Sua versatilidade é tamanha que levou o arquiteto colombiano Oscar Hidalgo a publicar seu último livro com o título: *Bamboo, The Gift of the Gods*!

A utilização do bambu é bastante disseminada em todo o mundo, principalmente nos países asiáticos. Japoneses, chineses e indianos utilizam essa extraordinária planta há milhares de anos. Em certas regiões, o bambu é considerado uma planta sagrada, tais são os benefícios que ela proporciona. Na América do Sul, a Colômbia destaca-se como o país que mais investe na utilização desse material em construções. No Brasil, só recentemente essa espécie vegetal recebeu a atenção já merecida com a criação da Rede Brasileira do Bambu. Isto se justifica pelas grandes reservas existentes no estado do Acre e pela facilidade de crescimento em significativa parte do território brasileiro. Entretanto, como ainda existe uma ideologia de associar essa planta à pobreza, um esforço para se divulgar suas características agronômicas e tecnológicas se faz necessário.

O bambu já é utilizado no meio rural como tutor para plantas, demarcação de curvas de nível, cercas, estrados, comedouros, esteiras, cestos,

forros, proteção de terrenos, quebra-vento, controle de erosão, carvão, drenagem, condução de água, alimentação, vara de pescar. O potencial da planta na fabricação de móveis, artefatos domésticos, instrumentos musicais e mesmo na engenharia mecânica é inegável. Na Figura 1, é possível ver algumas aplicações gerais. Dentre elas, destaca-se o veículo de bambu, que foi desenvolvido na PUC-Rio.

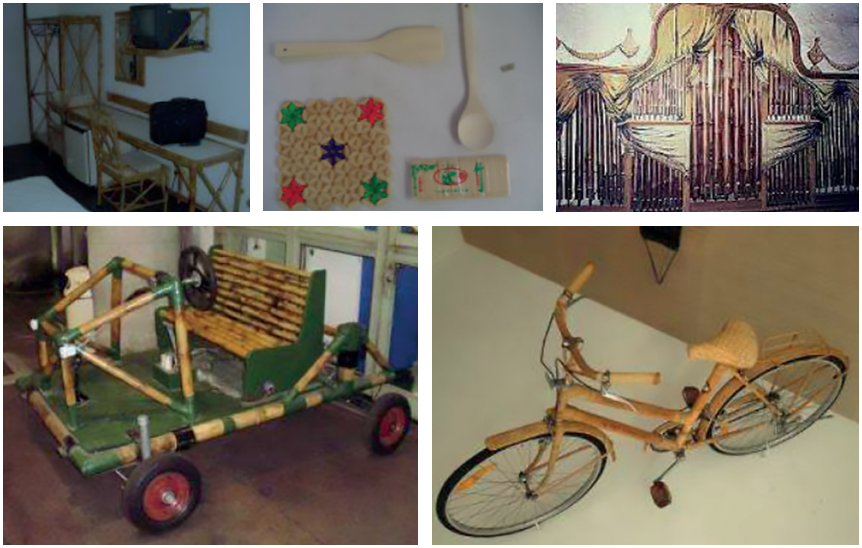


Figura 1. Aplicações do bambu no design (fabricação de móveis), utensílios de cozinha, instrumentos musicais, engenharia mecânica.

Muitas vezes, faz-se um uso inadequado do bambu, com os colmos expostos diretamente às intempéries. Nesses casos, o material se deteriora rapidamente, fica com aspecto estético comprometido, devendo ser substituído em poucos anos. Na Figura 2, apresentam-se exemplos de utilização não conveniente para o nobre material vegetal: à esquerda cancela e cerca com o bambu diretamente exposto ao sol e à chuva; à direita, o colmo em contato direto com a umidade do solo.

Tais usos inadequados são um empecilho a mais na tentativa de aplicação em larga escala do bambu. Como nessas situações ele tem baixa durabilidade, a população encara-o como material de segunda categoria, associando-o muitas vezes à pobreza. Soma-se a isso o desconhecimento do potencial do material, fato que acarreta o seu mau uso, resultando em construções efêmeras e de aspecto estético discutível.

Figura 2. Uso inadequado do bambu: exposto às intempéries e em contato direto com o solo: curta vida útil.

No entanto**,** com o bambu, pode-se fazer obras de engenharia de qualidade e de beleza arquitetônica ímpar. A Figura 3 mostra exemplos dessa característica. Nela, é possível ver, acima, uma obra da Ebiobambu, feita para a feira do Centro de Convenções em João Pessoa, em agosto de 2017; abaixo, à esquerda, o anfiteatro para a PUC-Rio, obra da Bambutec – Rio; e ao centro e à direita, o cenário para a novela Araguaia, veiculada pela rede Globo de Televisão, obra da Arte-Desenho – Rio.

Figura 3. Arquiteturas contemporâneas com o bambu – empresas brasileiras – acima: Ebiobambu; abaixo à esquerda: Bambutec – Rio, ao centro e à direita: ArteDesenho-Rio.

Algumas regiões da América Latina já usam o bambu em uma escala relativamente grande, como ocorre em certas partes da Colômbia, porém, na maioria dos casos, seu emprego é feito de forma empírica, poucas vezes fazendo-se uso das suas reais propriedades de engenharia no projeto das estruturas. Apenas recentemente foram publicadas, naquele país, informações sistemáticas sobre a espécie *Guadua angustifolia* (PEÑA, 2010), e finalmente foi inserido, na norma técnica sobre estruturas de madeira, um capítulo sobre o projeto estrutural com *Guadua* (ICONTEC, 2010). Apesar de ser um documento novo, utiliza ainda o método das tensões admissíveis. Equador e Peru também já dispõem de normas para as estruturas de bambu, assim como Índia e China. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas instituiu, em julho de 2017, a Comissão de Estudos *CE-002:126.012 – Comissão de Estudo de Estruturas de Bambu*, que está elaborando um texto de norma nacional, tendo como referência a norma *ISO 22156-Bamboo Structural Design* (ISO, 2004). No final deste capítulo, apresentam-se algumas considerações sobre esse documento.

Não se sabe ao certo o número de espécies de bambu, se 1200 ou mais, que se espalham pelo globo. A diversidade dessa planta é tal que sua altura varia de poucos centímetros a mais de 30 metros de altura (Figura 4).

Figura 4. Espécies de bambu de alguns centímetros e com cerca de 30 m de altura.

Evidentemente, para emprego na Arquitetura e na Engenharia, existem espécies apropriadas. Para se aplicar o bambu nas construções, é necessário que os colmos passem por diversas etapas, como: seleção; corte; cura; secagem; e tratamentos imunizantes. No presente capítulo, não se dão

detalhes sobre essas etapas por limitação de espaço, passando-se diretamente à análise da estrutura do bambu.

2. Estrutura do Bambu

Pode-se dizer que *fases* são as diferentes partes que compõem um material. Já a *estrutura* do material corresponde à forma, dimensão e maneira como se distribuem as diversas fases no seu interior. É importante se conhecer a estrutura de um material porque suas propriedades podem ser modificadas, quando há intervenções sobre ela.

O olho humano consegue discernir partículas com dimensões da ordem de 0,2 mm. Assim, chama-se *macroestrutura* a parte da estrutura visível ao olho nu, e *microestrutura* a parte da estrutura visível ao microscópio. Há também a mesoestrutura, ou seja, aquela entre as duas citadas.

2.1. Macroestrutura do Bambu

Os colmos de bambu são tubos tronco-cônicos com saliências onde se situam os nós. O diâmetro é maior na base que no topo (Figura 5). É justo que a Natureza tenha assim criado os colmos: na parte basal, é que ocorrem as maiores as solicitações devido à ação do vento, havendo necessidade de maior inércia.

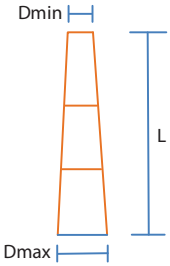


Figura 5. Forma tronco-cônica do colmo de bambu.

Chama-se "conicidade" do trecho de colmo a razão da diferença entre os diâmetros maior (Dmax) e menor (Dmin) nas extremidades do trecho e seu comprimento L. Multiplicado por 100, o resultado pode ser expresso em %:

$$\delta = 100 \times (D_{max} - D_{min})/L \ (\%)$$

Para emprego nas estruturas, é conveniente que a conicidade seja limitada a 0,67 % (BARBOSA; GHAVAMI; MOREIRA, 2016).

Cortando–se longitudinalmente o colmo ao meio, percebe-se que nos nós existe um diafragma que fecha inteiramente a seção (Figura 6), embora também existam espécies de bambu cuja seção é maciça, e não oca, como a maior parte das espécies.

Os diafragmas servem para dar a rigidez necessária contra a torção dos colmos e também para impedir a flambagem local da parede. A distância entre os nós chama-se internó, entrenó ou distância internodal. O vazio entre os diafragmas é a câmara internodal.

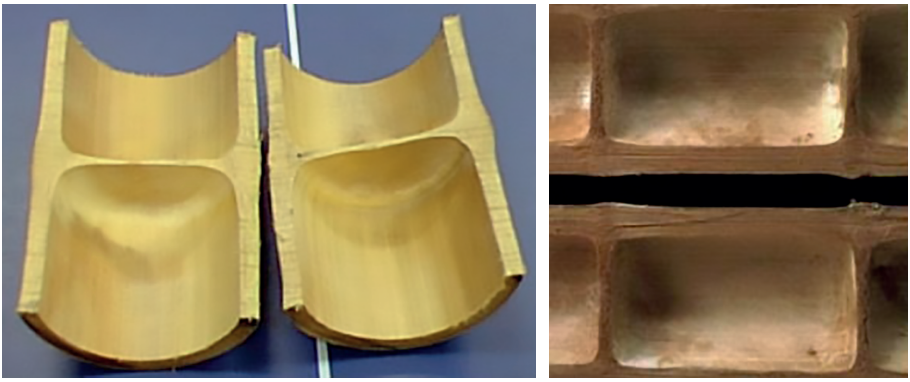


Figura 6. Diafragmas do bambu.

Para emprego na Engenharia, é de interesse conhecer, além do comprimento médio dos colmos, os seguintes parâmetros ao longo deles, que variam enormemente com a espécie (Figura 7):

- distância internodal (ou entrenó, internó ou internódio);
- diâmetro externo;
- espessura da parede.

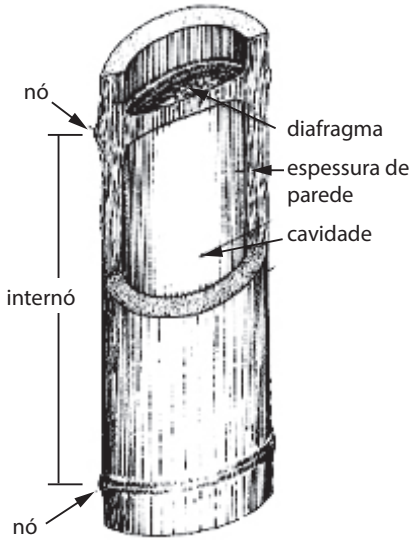
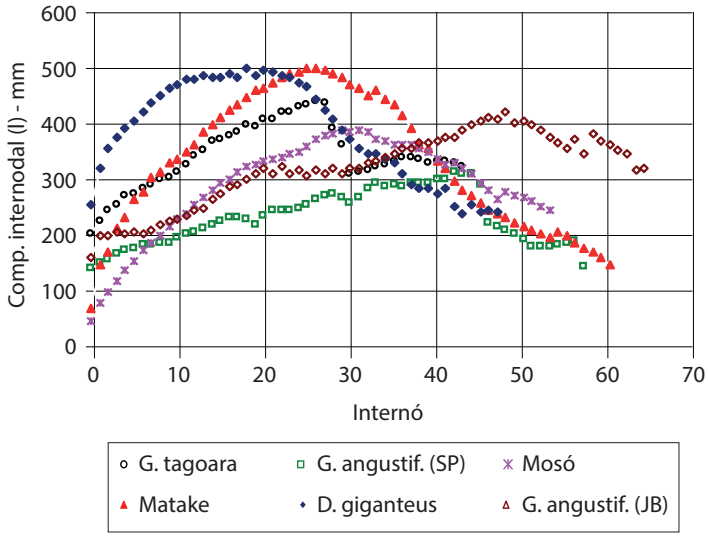


Figura 7. Colmo de bambu.

Esses parâmetros variam de acordo com:

- espécie;
- fatores locais, como qualidade do solo, temperatura e umidade relativa do ambiente, insolação, espaçamento entre touceiras, etc.;
- manejo do bambuzal;
- posição ao longo do colmo;

Na Universidade Católica do Rio de Janeiro (GHAVAMI; MARINHO, 2001), foram obtidas essas propriedades para diversas espécies de bambu. Foi estabelecida a forma como elas variam ao longo do colmo. Na Figura 8, apresenta-se o caso da distância internodal, sendo que o número no eixo x indica o número do entrenó, contado de baixo para cima, correspondendo o número 0 ao primeiro deles. Na Universidade Federal da Paraíba, obtiveram-se os dados para a espécie *Bambusa vulgaris* (GOME NETO, 2017).



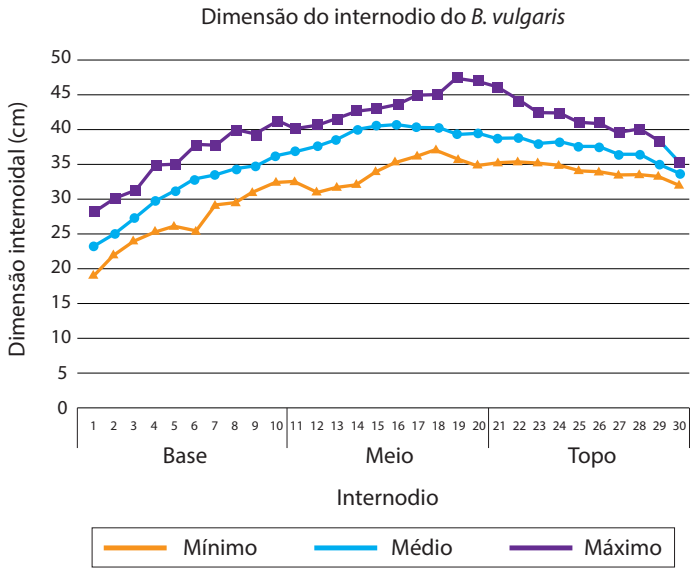
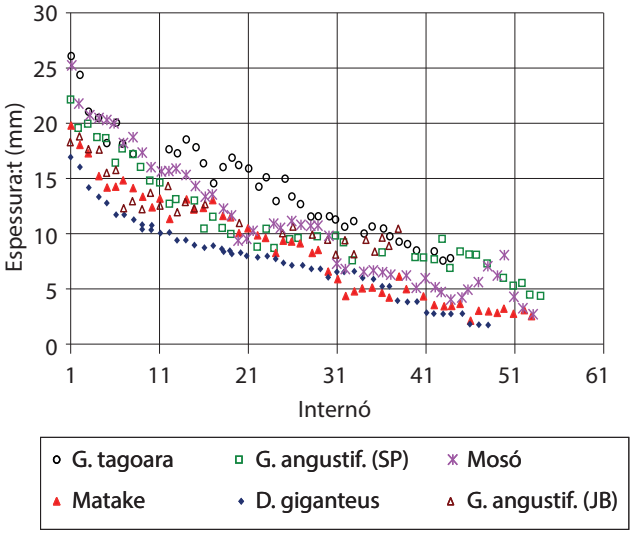


Figura 8. Variação da distância internodal ao longo do colmo.

Percebe-se que a distância entre os nós vai crescendo a partir da base até atingir os valores maiores no trecho central, voltando a decrescer nas extremidades superiores do colmo.

No caso do diâmetro externo, vê-se na Figura 18 que ele decresce da base para o topo, visto que o colmo tem a forma tronco-cônica.

O mesmo ocorre com a espessura da parede: ela é maior nas partes inferiores do colmo, decrescendo ao longo de sua altura. Isso pode ser visto na Figura 9.



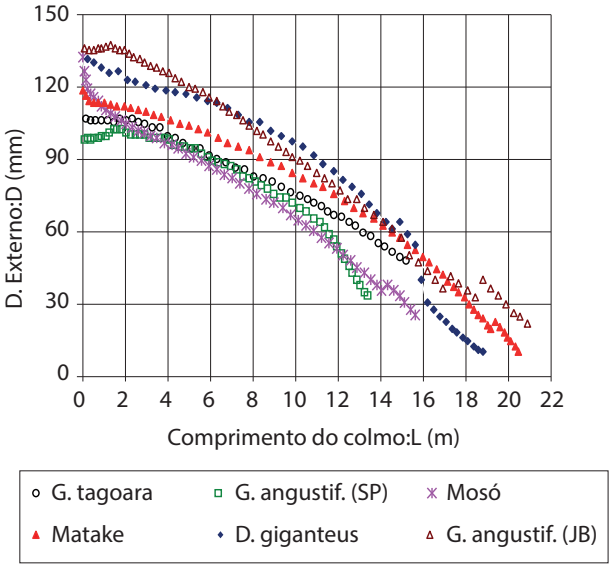
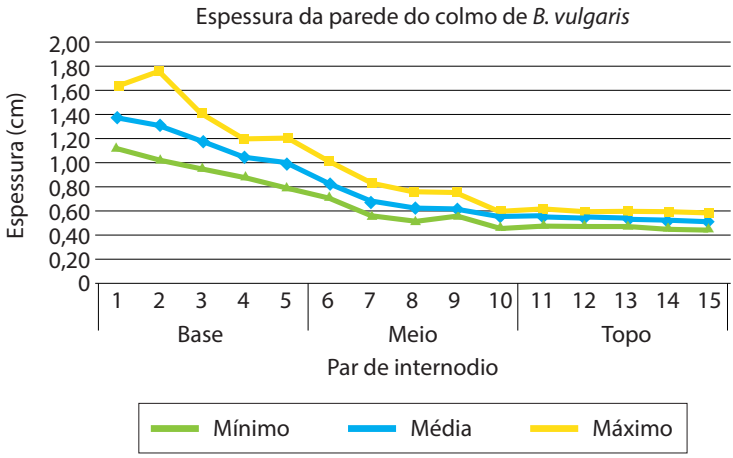


Figura 9. Variação da espessura da parede e do diâmetro externo ao longo do colmo.



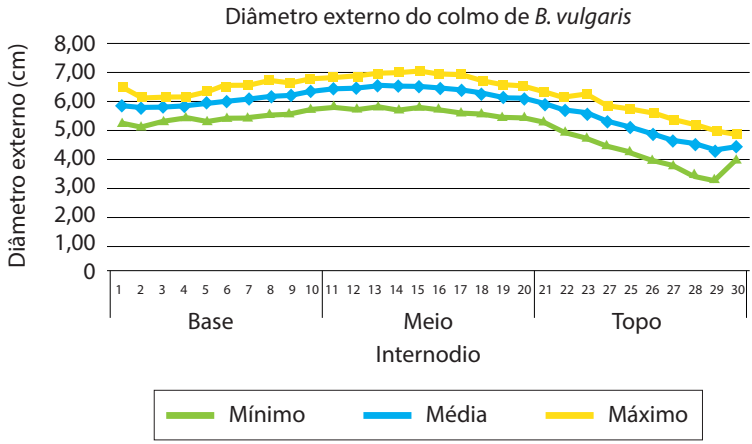


Figura 9. Continuação

Sendo um material vegetal, as seções transversais do colmo nem sempre são perfeitas. Há espécies como *Guadua angustifolia*, *Dendrocalamus giganteus* e muitas outras cuja homogeneidade é muito grande. No entanto, outras, como a *Bambusa vulgaris,* apresentam muita variação. Por exemplo, nas vizinhanças do nó, a seção perde um pouco a forma circular, como se vê na Figura 10. Note-se também a variação na espessura da parede para colmos da mesma espécie. Isso porque se tratam de colmos colhidos aleatoriamente de locais diferentes, em bambuzais sem nenhum manejo. Uma plantação com o devido trato conduzirá a uma maior uniformidade.

Figura 10. Seção transversal de colmos de *Bambusa vulgaris*: à direita, distorção nas vizinhanças do nó.

Para fins de engenharia, as irregularidades de certos colmos podem ser aceitas considerando-se um apropriado coeficiente de modificação da resistência e admitindo-se valores médios para as propriedades das seções transversais.

Devido à forma tubular, pode-se adotar como referência as direções longitudinal, radial e circunferencial, mostradas na Figura 11. As propriedades físicas e mecânicas do bambu são diferentes, segundo essas três direções.

A direção longitudinal é dita direção paralela às fibras. A direção radial é aquela ao longo da espessura da parede do colmo. A direção circunferencial é aquela circular, paralela ao perímetro da seção transversal do colmo.

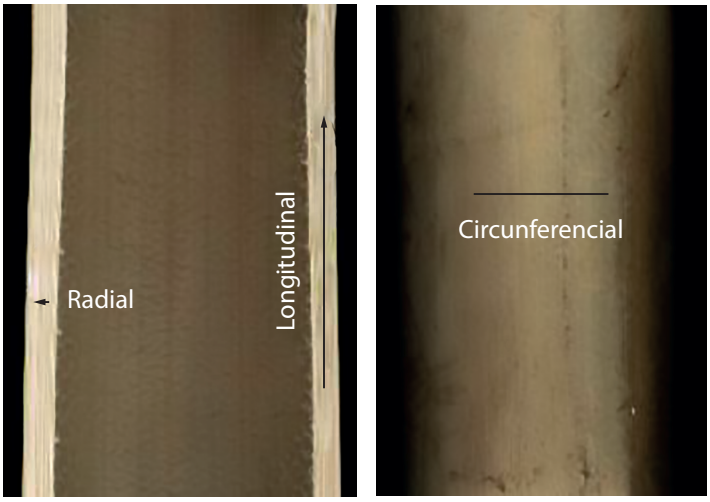


Figura 11. Direções a serem consideradas nos colmos de bambu.

2.2. Meso e microestrutura do bambu

Microscopicamente, as paredes dos colmos de bambu podem ser consideradas como sendo constituídas de um material compósito formado por fibras fortemente aderidas a uma matriz de parênquima (Figura 12). As fibras são as fases mais resistentes. Na Figura 13, vê-se que a concentração delas, a qual aumenta na direção radial, do interior para a face externa, de forma que o bambu possa resistir às cargas de vento, que constitui a solicitação mais constante durante a vida desse material na natureza.

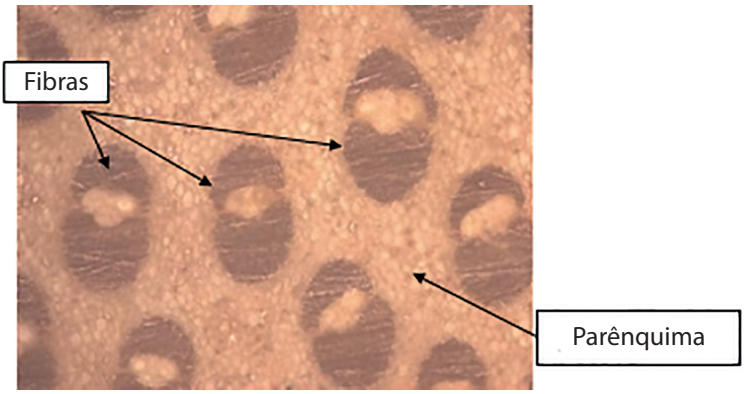


Figura 12. Bambu: material compósito.

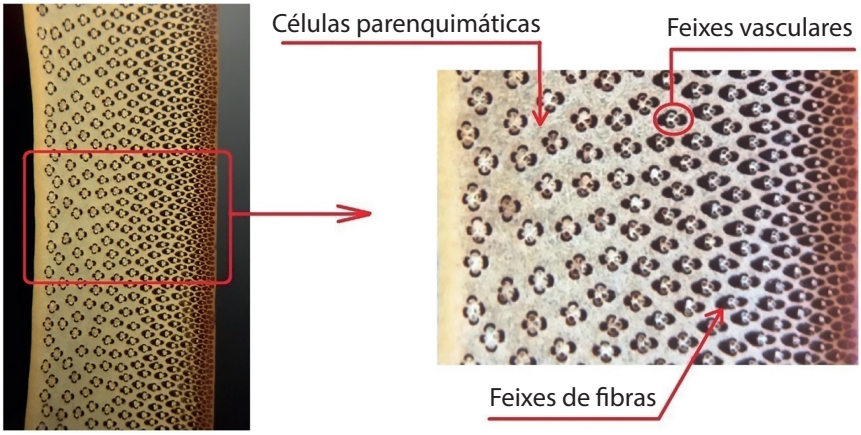


Figura 13. Vistas da mesoestrutura do bambu Mosó.

2.2.1. Mesoestrutura

As fibras têm uma direção preferencial, orientando-se longitudinalmente ao longo do colmo. Elas são praticamente paralelas e lineares ao longo do internó, porém, nos nós, elas sofrem desvios – anastomose – , como se pode perceber na Figura 14. Somente no diafragma as fibras circulam de um lado para outro.

Figura 14. Desvio do paralelismo das fibras nos nós do colmo.

No sentido radial, as fibras não se distribuem homogeneamente no parênquima: há uma maior concentração nas proximidades da face externa, como se vê na Figura 15, obtida na PUC-Rio. Sendo as camadas externas do colmo as mais solicitadas pela ação do vento no bambuzal, bem como as fibras a fase responsável pela resistência à tração, sabiamente a Natureza concentra-as nas zonas mais tracionadas.

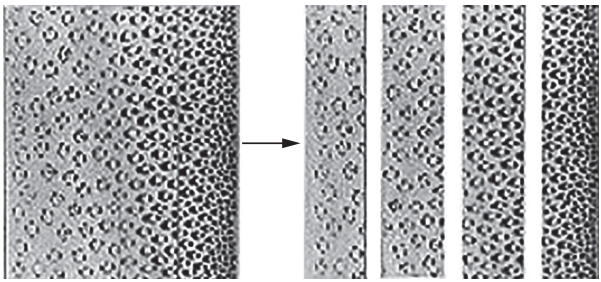


Figura 15. Distribuição das fibras ao longo da espessura da parede do colmo (direção radial).

Já ao longo da direção circunferencial (Figura 16) tem-se uma distribuição de fibras praticamente uniforme.

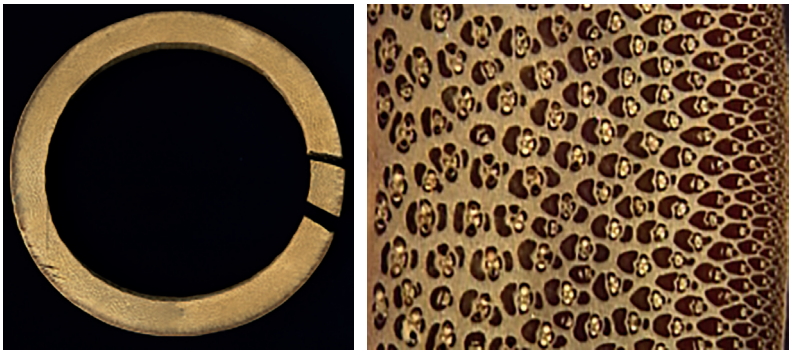


Figura 16. Distribuição das fibras ao longo da direção diametral.

Na direção longitudinal, a distribuição das fibras é também aproximadamente uniforme, embora haja variação na quantidade delas à medida que se afasta da base.

2.2.2. Microestrutura

As fibras e vasos estão imersas no parênquima, que é um tecido poroso, de células ocas, nas quais se armazenam o amido. A lignina e a celulose são os polímeros que fazem as paredes de todas as células, tanto do parênquima quanto das fibras. A celulose $(C_6\ H_{10}\ O_5)_n$ é uma cadeia de monômeros tridimensionais, que conferem resistência ao tecido, enquanto a lignina, polímero aromático, faz uma cimentação do tecido, conferindo-lhe rigidez.

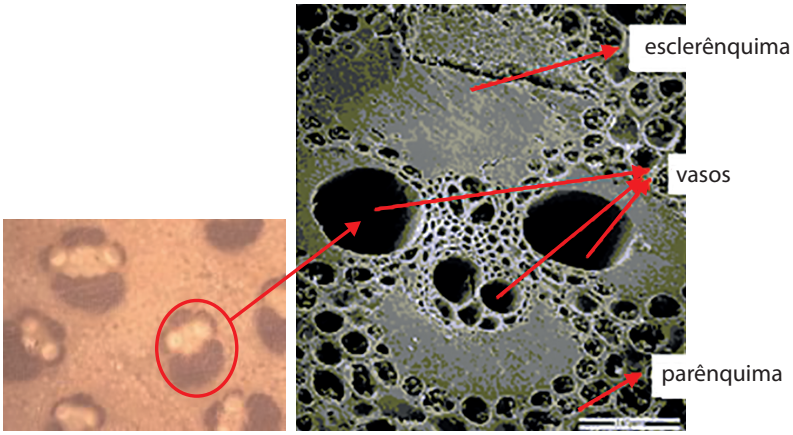


Figura 17. Vista de fibra de bambu.

Os vasos condutores de seiva chamam-se xilema. Eles, por sua vez, são formados por protoxilema, metaxilema e floema (Figuras 17 e 18). No protoxilema e no metaxilema, localizam-se os vasos onde circulam a água com sais minerais dissolvidos - a seiva bruta - desde a raiz até às folhas. Já o floema é o vaso que transporta a seiva elaborada, já com as substâncias orgânicas produzidas pela fotossíntese.

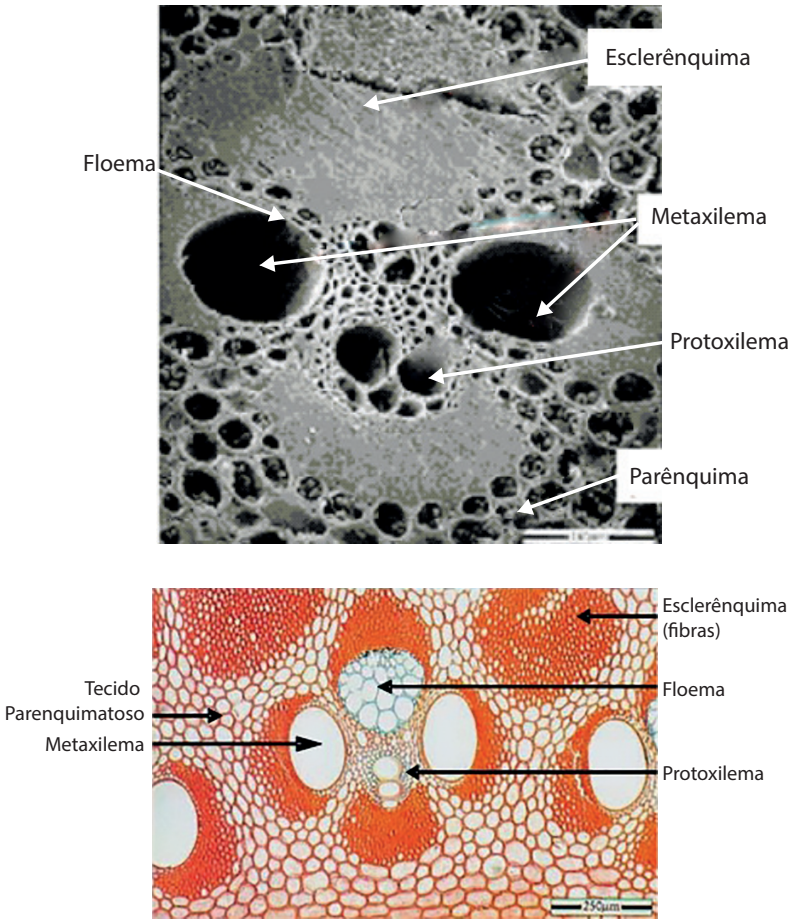


Figura 18. Componente da fibra e desenho esquemático da microestrutura do bambu.

O metaxilema apresenta um diâmetro maior que o protoxilema. Os vasos do floema têm ainda menor dimensão. Do ponto de vista da engenharia, é importante conhecer os diâmetros e distribuição dos vasos ao longo da espessura da parede.

3. Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas do bambu são influenciadas principalmente por fatores como: espécie, idade do colmo, condições do solo e climáticas, época de colheita, teor de umidade e localização das amostras, com respeito ao comprimento do colmo, presença ou ausência de nós nas amostras testadas e tipo de teste realizado (GHAVAMI, 2005; CULZONI, 1986; MOREIRA, 1991). Como já citado, essas propriedades variam segundo as três direções: longitudinal, radial e circunferencial. A resistência longitudinal é a preponderante, denominada resistência paralela às fibras.

Em virtude da orientação das fibras ser paralela ao eixo do colmo, o bambu resiste mais à tração do que à compressão. O módulo de elasticidade paralelo às fibras varia em função da posição do colmo. O nó do bambu é um ponto de descontinuidade de algumas fibras. Nele ocorrem mudanças que alteram a seção, havendo concentração de tensões, verificadas nos ensaios. Na Tabela 1, tem-se uma série de resultados alcançados por vários autores, que dão ideia da ordem de grandeza da resistência do bambu paralela às fibras. Convém citar que tais resultados foram obtidos com o bambu na umidade de equilíbrio com a atmosfera.

Nota-se que a resistência à tração do bambu paralela às fibras é alta. Já a resistência à compressão é, na maioria dos casos, cerca de 30% menor que a resistência à tração. Na Tabela 2, tem-se resultados atingidos por diferentes pesquisadores. Os corpos de prova usados para medição das resistências à tração e à compressão paralela às fibras podem ser vistos na Figura 19. No teste de compressão, a altura é igual ao diâmetro, a duas vezes o diâmetro e até 3 vezes o diâmetro, para menores diâmetros, colocação de *clip gauges* – grampos que medem deformação.

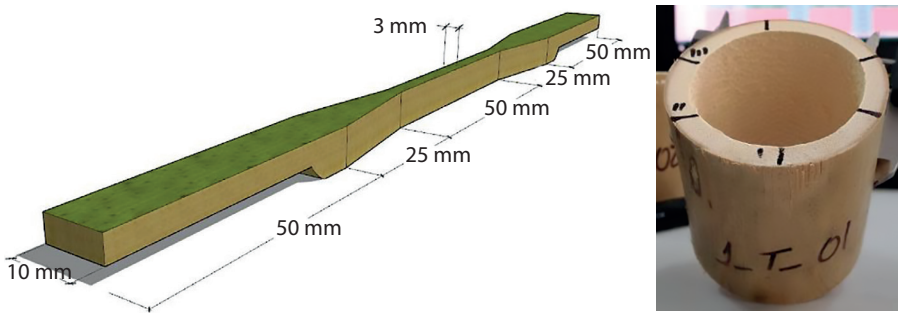


Figura 19. Corpos de prova para medição das resistências à tração e à compressão.

Tabela 1. Resistência à tração do bambu paralela às fibras em MPa obtida por diferentes autores – adaptado de (GOME NETO, 2017; MURAD, 2011).

	Bv	Bv (2)	Bv (3)	Gspp	Gw	Ga	Gs	Dg (1)	DG (2)	Dg (3)
Base com nó	94,2		161,7	86,5	72,2	69,9	109	103	109	107
Meio com nó	87,9	94,3	155,3	73,5	–	82,6	–	118	170	144
Topo com nó	91,9		145,3	91,2	–	64,3	116	114	119	114
Média	91,3	94,3	154,1	83,7	72,2	72,3	112,5	111,7	132,7	121,7
Desvio padrão das médias	3,15	–	8,27	9,17	–	9,38	4,95	7,77	32,72	19,66
Coeficiente de variação	3,45%	–	5,36%	10,95%	–	12,98%	4,40%	6,96%	24,66%	16,16%
Base sem nó	112		–	239	256	93,4	143	240	159	147
Meio sem nó	111,9	117,9	–	228	–	95,8	–	250	224	188
Topo sem nó	106,5		–	210	–	116	151	247	147	158
Média	110,1	117,9	–	225,7	256	101,7	147	245,7	176,7	164,3
Desvio padrão das médias	3,18	–	–	14,64	–	12,41	5,66	5,13	41,43	21,22
Coeficiente de variação	2,88%	–	–	6,49%	–	12,20%	3,85%	2,09%	23,45%	12,91%

Tabela 2. Resistência à compressão do bambu paralela às fibras em MPa obtida por diferentes autores.

Região do colmo	Bv*	Bv* (2)	Bv* (3)	Gspp	Gw	Ga	Gs	Dg (1)	DG (2)
Base sem nó	54,8	51,68	56,5	44	54,5	28,4	50,6	68,5	72,6
Base com nó		49,9	–	43,4	37,3	25,3	36,4	59,1	71,4
Meio sem nó		51,68	–	47,7	–	31,8	–	70,8	78,8
Meio com nó		49,9	–	43,6	–	28,4	–	65,4	72,7
Topo sem nó		51,68	–	54,4	–	25,3	45	71,5	96,8
Topo com nó		49,9	–	41,3	–	31,8	35	65,6	75,5
Média	54,8	50,8	56,5	45,7	45,9	28,5	41,8	66,8	78
Desvio padrão das médias	5,08	1,26	–	4,73	12,16	2,91	7,37	4,55	9,6
Coeficiente de variação	9,26%	2,48%	–	10,33%	26,50%	10,20%	17,66%	6,81%	12,32%

Fonte: Adaptado de Murad (2011).

- Bv – *Bambusa vulgaris* (GOME NETO, 2017);
- Bv (2) – *Bambusa vulgaris* (MBUGE, 2000);
- Bv (3) – *Bambusa vulgaris* (SILVA, 2007);
- Gspp – *Guadua spp* (MURAD, 2011);
- Gw – *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007);
- Gs – *Guadua superba* (GHAVAMI; TOLEDO FILHO, 1992);
- Ga – *Guadua angustifolia* (GHAVAMI; MARINHO, 2001);
- Dg (1) – *Dendrocalamus giganteus* (PEREIRA, 2006b);
- Dg (2) – *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI; MARINHO, 2001);
- Dg (3) – *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI; TOLEDO FILHO, 1992).

No que diz respeito ao módulo de elasticidade, ele varia entre as diferentes espécies de 8 GPa e 25 GPa. Para uma mesma espécie, o módulo de elasticidade à tração é maior do que o módulo à compressão.

Na Figura 20, vê-se a influência da umidade do corpo de prova na resistência à compressão do *Bambusa vulgaris* (GOME NETO, 2107). Nota-se que, quando a umidade é muito baixa (material seco em estufa), a resistência aumenta significativamente. Depois dos 30%, ela praticamente se estabiliza. Esse percentual de umidade além do qual a resistência se estabiliza é o ponto de saturação das fibras, que teria um valor teórico de 33%. Contudo, o bambu tem sílica e cera na superfície, que dificultam a saturação de todas as fibras, de forma que esse valor pode ficar menor. Cada monômero de celulose tem 3 oxidrilas, que podem capturar 3 moléculas de água. A razão do peso molecular de 3 moléculas de água para um monômero de celulose é 33%. Essa é a água de constituição ou impregnação. Ao perder água de constituição, o bambu sofre retração de suas dimensões, e inchamento, quando absorve água de constituição. Acima do ponto de saturação, tem-se a água livre.

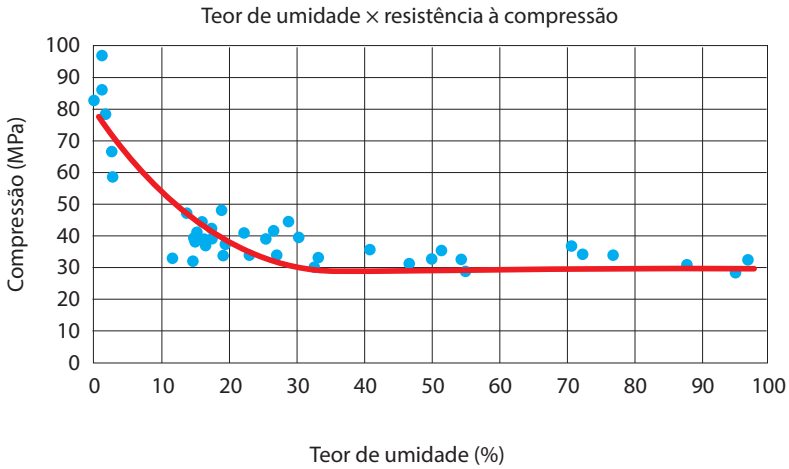


Figura 20. Variação da resistência à compressão paralela às fibras com o teor de umidade do bambu (GOME NETO, 2107).

Outra propriedade mecânica de interesse na engenharia é a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras. Nas ligações com parafusos ou com pinos, ela é determinante. Na Tabela 3, tem-se resultados obtidos com o *Bambusa vulgaris* (GOME NETO, 2107).

Na Figura 21, vê-se o corpo de prova utilizado para tal.

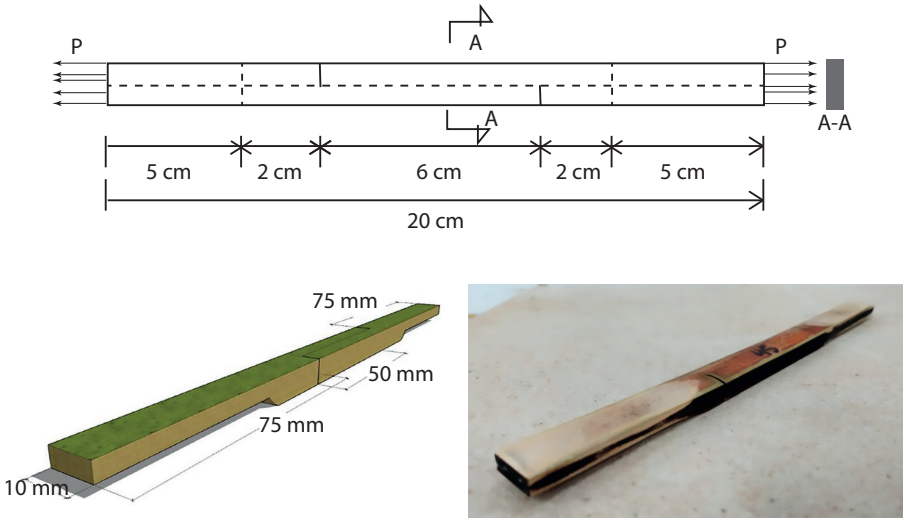


Figura 21. Corpo de prova para ensaios de cisalhamento paralelo às fibras.

Tabela 3. Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras do *Bambusa vulgaris*.

	Com nó (MPa)	Sem nó (MPa)	Umidade (%)
Base	5,6	4,9	11,0%
Meio	6,7	4,4	11,1%
Topo	7,0	4,1	10,3%
Média	6,4	4,4	10,8%
Desvio padrão	1,99	1,17	0,98%
Coeficiente de variação	31,10%	26,43%	9,06%

Quando a resistência está muito baixa em bambus com umidade de equilíbrio da ordem de 10 %, há forte indício de bambus novos. Bambus estruturais devem ser colhidos com idade maior que 3 anos. Assim, os colmos devem ser etiquetados logo que nascidos e colhidos nessa idade ideal. Como em todos os anos há novas brotações, o corte nunca descaracteriza o bambuzal, mantendo as suas folhagens e evitando, com isso, erosões eólias e pluviais. Mal se percebe o corte dos bambus maduros, que corresponde também a uma poda da gramínea, fortalecendo o rizoma e os novos bambus. Uma silvicultura completamente diferente de uma árvore. Bambu não é árvore e não pode ser confundido com árvore. O corte parcial dos bambuzais é necessário para o fortalecimento do rizoma.

4. Painéis Modulares Estruturais de Bambu

Um interessante uso estrutural do bambu pode ser na forma de painéis modulares pré-fabricados, com encaixes. Com eles, pode-se fazer construções como a da Figura 22, com grande velocidade.

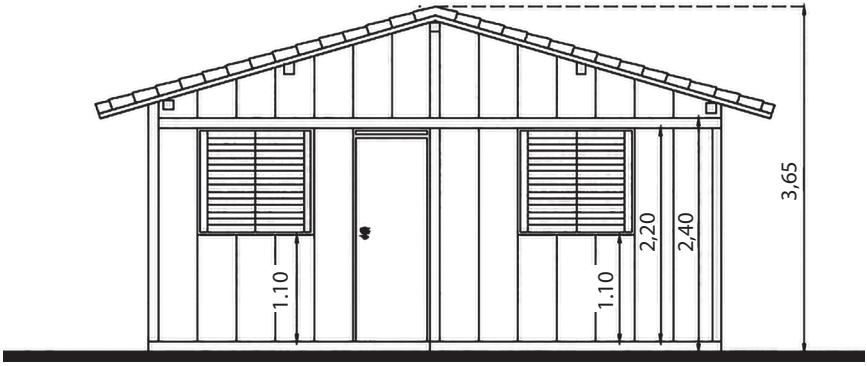


Figura 22. Proposta de construção com painéis modulares de bambu (SOBRINHO et al., 2012).

Os painéis são compostos por colmos inteiros paralelos, envolvidos por um microconcreto de baixa rigidez (Figura 23), tendo, em sua composição, resíduos da fabricação de sandálias (etileno vinil acetato-EVA) ou espuma de poliestireno e fibras de coco. Isso permite ao composto cimentício acompanhar as deformações do bambu sem danos entre eles.

Figura 23. Painéis modulares estruturais de bambu (GOME NETO, 2107).

O desempenho estrutural é muito bom e, na Figura 24, pode-se notar a grande flexibilidade do conjunto. Na parte direita da Figura 24, o painel apresenta uma flecha lateral significativa, mas, retirado o carregamento, voltou-se praticamente à configuração inicial, com pequena deformação permanente.

Essas peças também podem servir de lajes de cobertura.

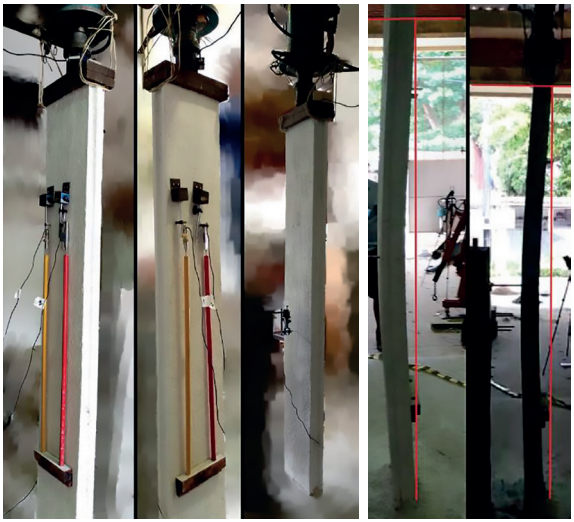


Figura 24. Ensaios de painéis modulares de bambu: notar a deformabilidade, à direita.

As cargas máximas suportadas pelos painéis atingiram valores por volta de 120 kN. Considerando-se que o painel de 10 cm de espessura tem apenas 40 cm de largura, isso corresponde a 300 kN/m. Tal capacidade de carga capacita o painel como estrutural, vendo-se nele um grande potencial.

5. Impregnação do bambu com resinas poliméricas

Como se viu no item 2.2 (Figuras 16 e 17), o bambu apresenta muitos vazios. Dessa característica, surgiu então a ideia de se preencher os vasos com resinas poliméricas (SOBRINHO et al., 2012; ORTIZ, 2017).

Os primeiros estudos usaram uma resina (80 % de estireno + 20 % de metilmetacrilato), e um equipamento que sob pressão (SOBRINHO et al., 2012) empurrava a resina para o interior do colmo. Conseguiu-se sucesso (Figura 25) em porções de colmo com nó apenas na extremidade por onde estava sendo aplicada a resina. A espécie utilizada foi o *Bambusa vulgaris*.

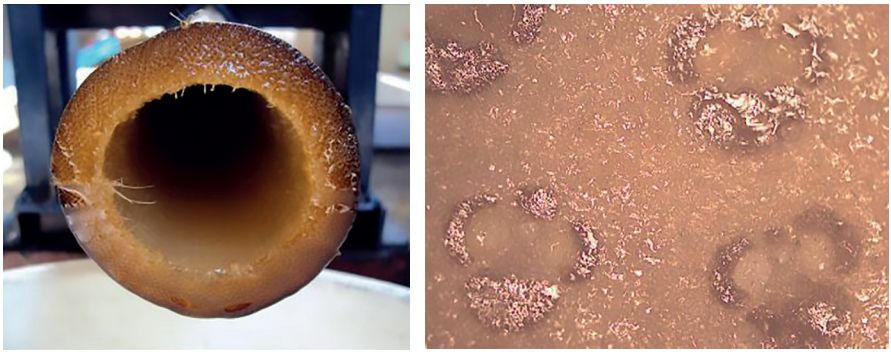


Figura 25. Trecho de colmo de bambu impregnado.

Em uma segunda etapa, foram estudadas resinas mais apropriadas e, após muitos testes, chegou-se à conclusão que é conveniente aplicar-se um pré-tratamento com glutaraldeído, seguido da impregnação com poli (estireno-co-metacrilado de metila). Para tanto, foi usado um processo de vácuo em pequenas amostras, considerando-se a norma ASTM 143-09 *Standard test methods for small clear specimens of timber*.

Pôde-se concluir que foram aumentadas as resistência à tração, à compressão, à flexão, além das variações dimensionais e da durabilidade, no que diz respeito ao ataque do inseto *Dinoderus minutos.*

Na Figura 26, vê-se a curva tensão-deformação de pequenas amostras de bambu impregnadas com os produtos acima descritos. Considerando o valor médio das resistências obtidas, elas passaram de 56 MPa para 85 MPa, ganho de cerca de 50%.

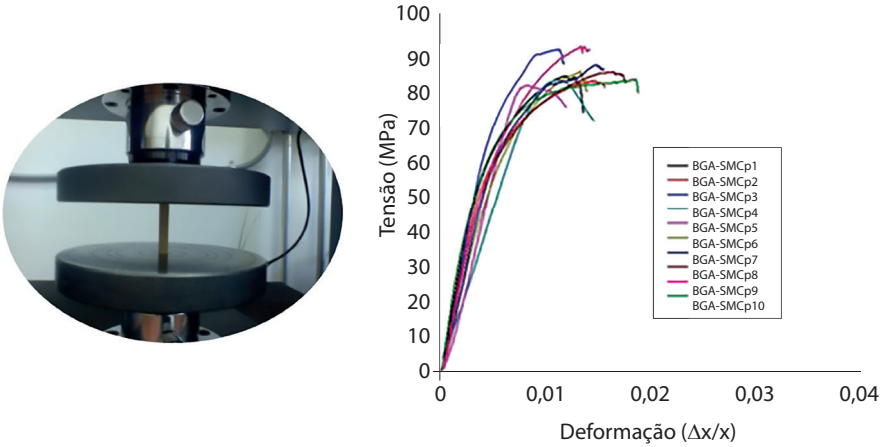


Figura 26. Ensaio de compressão em pequenas amostras e curvas tensão-deformação do bambu impregnado (ORTIZ, 2017).

Na Figura 27, vê-se o ensaio de flexão e as curvas obtidas com o bambu impregnado. Passou-se de cerca de 100 MPa para 118 MPa. O módulo de elasticidade também foi aumentado com o preenchimento de parte dos vazios por resina.

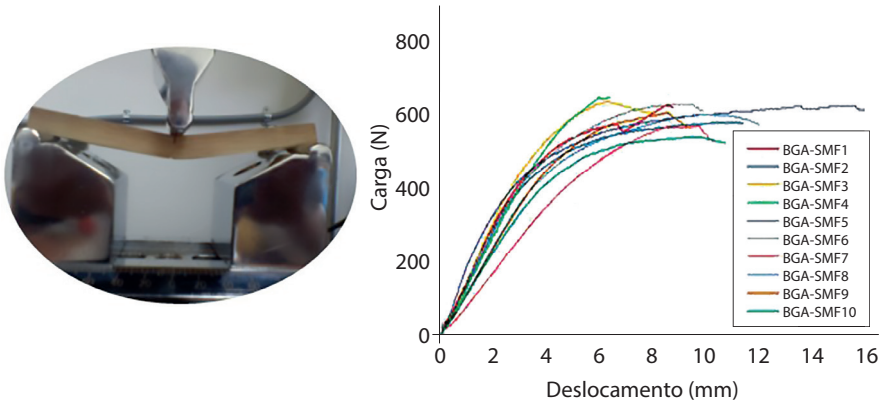


Figura 27. Ensaio de flexão em pequenas amostras e curvas carga-flecha do bambu impregnado (ORTIZ, 2017).

Na Figura 28, podem ser vistos cortes que mostram o metaxilema do bambu. À esquerda, tem-se o bambu natural; à direita uma amostra em que foi feita a impregnação. Pode-se notar que os vasos recebem a resina, mas o preenchimento deles não é perfeito, aparecendo ainda vazios.

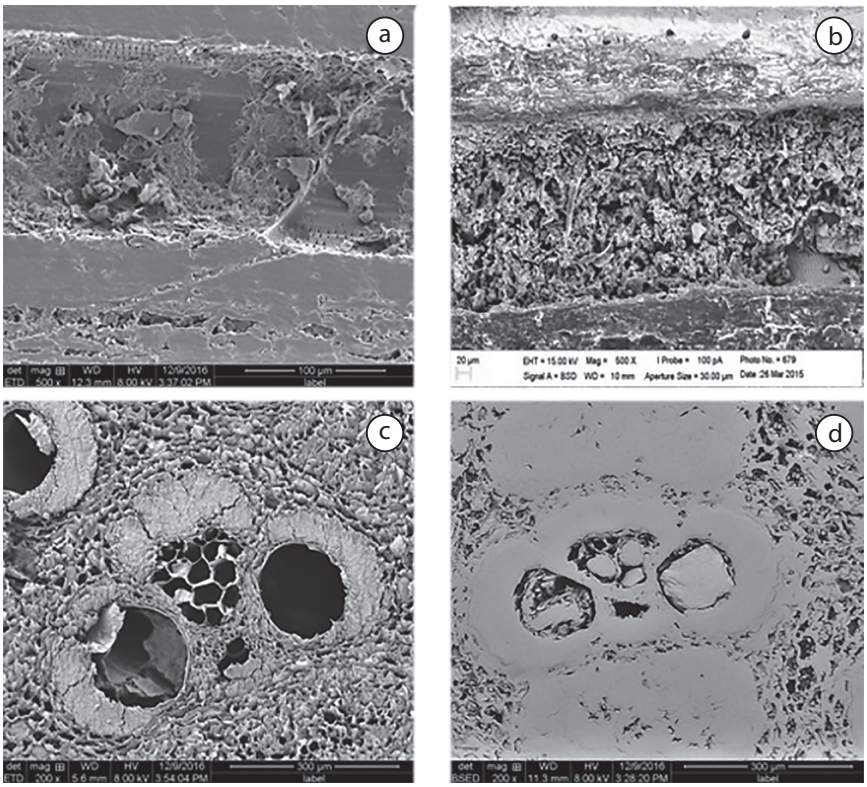


Figura 28. Microscopia do bambu: a- corte longitudinal do metaxilema bambu natural; b - idem bambu impregnado; c- corte transversal da fibra bambu natural; d – idem bambu impregnado (ORTIZ, 2017).

Um efeito muito benéfico da impregnação é a imunização do bambu contra insetos. Um teste foi feito durante período de seis meses, expondo-se bambus no estado natural e impregnados à presença de insetos *Dinoderus minutos*, conhecido como caruncho do bambu. Em pouco tempo, os primeiros já estavam completamente deteriorados, ao passo que os segundos não sofreram nenhum ataque (Figura 29).

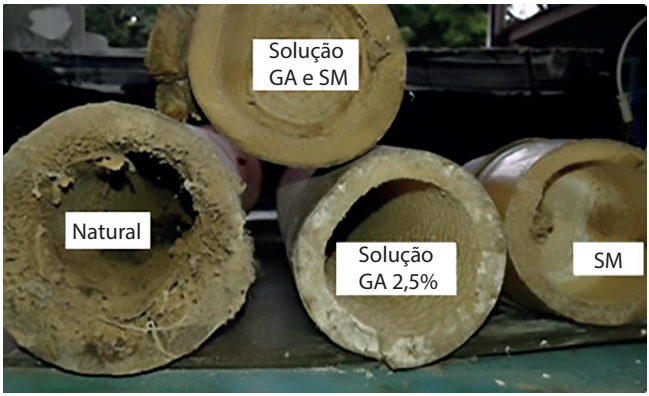


Figura 29. Bambus impregnados: imunes aos insetos.

6. Considerações Finais

O que foi apresentado demonstra que o bambu tem um potencial para ser considerado material de construção para o novo milênio.

Macroestruturalmente, os colmos de bambu têm a forma tronco-cônica, e um parâmetro usado para seu uso nas estruturas é a conicidade, ou seja, relação entre o maior e o menor diâmetro dividido pelo comprimento do trecho do colmo analisado. Essa grandeza é limitada a 0,67%.

Os colmos apresentam diafragmas nos nós, cuja distância varia de acordo com a espécie e com a posição ao longo do colmo, tendo seus valores máximos na parte central.

Ele apresenta muitos vazios, os maiores deles são os vasos condutores de seiva, chamados metaxilema. As fibras são orientadas longitudinalmente, em decorrência disso as maiores resistências e módulos são paralelos às fibras.

As resistências do bambu são compatíveis com as mais diversas aplicações de engenharia. O módulo de elasticidade, como de todo material vegetal, é mais baixo que o do aço ou do alumínio, por isso possui maior flexibilidade.

A aplicação do bambu com reforço em painéis pré-fabricados estruturais apresenta grande potencial. A capacidade de carga é elevada e o comportamento até as vizinhanças da ruptura é adequado, sem destacamento do microconcreto que o envolve.

A impregnação de resinas poliméricas nos vasos do bambu mostrou que são melhoradas as propriedades de resistência, estabilidade dimensional e durabilidade do material, credenciando o bambu como material de construção para o século XXI.

Referências

BARBOSA, N.P.; GHAVAMI, K.; MOREIRA, L.E. Proposta de Norma, Projeto de Estruturas de Bambu – **Proceedings...**, 2016, UFPB.

CULZONI, R.A.M. **Caracteristicas dos Bambus e sua utilização como material alternativo no concreto**. Dissertação (Mestrado) – PUC-Rio, p.134, 1986

GHAVAMI, K. **Engineering Properties of Entire Bamboo Culm of Species Guadua:** Contribution to a Sustainable Development, Bamboo Lab, Spain, ISBN 84-934672-0-0, p. 32-52, 2005.

GHAVAMI, K., MARINHO, A.B. **Determinação das propriedades dos bambus das espécies:** *Mosó, Matake, Guadua angustifolia, Guadua tagoara e Dendrocalamus giganteus* para utilização na engenharia. Publicação – RMNC Bambu 01/2001 do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio. 53p.

GHAVAMI, K.; TOLEDO FILHO, R. D. Desenvolvimento de materiais de construção de baixo consumo de energia usando fibras naturais, terra e bambu. **Revista Engenharia Agrícola**. Publicação Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, v. 2, p. 1-19, 1992.

GOME NETO, J.A. **Painel modular intertravado de matriz cimentícia com reforço estrutural de *Bambusa vulgaris*.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2017. 131p.

MBUGE, D.O. **Mechanical Properties of Bamboo (*Bambusa vulgaris*) Grown in Muguga, Kenya.** Tese (Doutorado) – University of Nairobi, 2000.

MOREIRA,L.E. **Desenvolvimento de Estruturas Treliçadas Espaciais de Bambu.** Dissertação (Mestrado) – PUC-Rio, 1991

MURAD, J.R.L. **As propriedades físicas, mecânicas e meso-estrutural do bambu Guadua weberbaueri do Acre.** Dissertação (Mestrado) – PUC-Rio, 2007.

MURAD, J.R.L. **Estudo experimental das propriedades físicas, mecânicas e aplicações estruturais do bambu Guadua spp de Assis Brasil – AC.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro: Niterói, 2011.

ORTIZ, S.R. E**feito da impregnação cm polímeros sobre as propriedades mecânicas do *Bambusa vulgaris.*** Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoas, 2017.

PEREIRA, M.A.R. **Projeto bambu:** manejo e produção do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) cultivado na Unesp de Bauru – SP e determinação de características mecânicas de ripas laminadas. In: Seminário Nacional de Bambu: estruturação da rede de pesquisa e desenvolvimento. 13 a 15 de setembro, Brasília, D.F., p. 91-103, 2006b.

SILVA, O.F. **Estudo sobre a substituição do aço liso pelo *Bambusa vulgaris*, como reforço em vigas de concreto, para o uso em construções rurais.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, 2007.

SOBRINHO, A. et al. **Impregnation of *Bambusa Vulgaris* with Polymeric Resins.** Key Engineering Materials, v. 517, pp. 27-33, 2012. Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.517.27

ANEXO

A1 Considerações Sobre a Proposta de Norma Brasileira de Projeto de Estruturas de Bambu

A norma brasileira está dividida em duas partes:

- Estruturas de bambu: Parte 1 – Projeto;
- Estruturas de bambu: Parte 2: Determinação das propriedades físicas e mecânicas.

A2.1 Parte 1 – Projeto

Na Parte 1, diferentemente da norma colombiana que utiliza o método das tensões admissíveis, a brasileira trabalha com o método dos coeficientes parciais aos estados limites.

Enquanto a norma colombiana trata apenas da espécie *Guadua angustifolia*, a brasileira considera bambus de diferentes espécies.

Como no Brasil os sismos são praticamente desprezíveis, a Norma não inclui requisitos exigíveis para evitar os estados limites gerados por terremotos.

Ela também não se aplica a estruturas de bambu laminado colado, que devem estar de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), nem a estruturas em que o bambu faz parte de compósitos, como, por exemplo, reforçando concreto ou gesso.

Entre os termos e definições que constam no item 3 da citada proposta de norma, convém destacar "conicidade" do trecho de colmo, o qual se define como **a** razão da diferença entre os diâmetros maior (D_{max}) e menor (D_{min}) nas extremidades do trecho e seu comprimento L. Multiplicado por 100, o resultado pode ser expresso em %:

$$\delta(\%) = \frac{100\left(D_{max} - D_{min}\right)}{l} \tag{1}$$

Para fins estruturais, a conicidade do bambu foi limitada a 0,67%, pouco maior que a recomendação colombiana de 0,6%. Tal porcentagem foi

definida para que se possa considerar barras prismáticas com propriedades geométricas igual ao valor médio das seções extremas.

As condições ambientais serão levadas em conta na fase de projeto para se avaliar o significado delas em relação à durabilidade e se tomar providências adequadas de proteção dos materiais. Deve-se evitar que os colmos da estrutura de bambu fiquem expostos à incidência direta do sol por longos períodos durante o dia. Do mesmo modo, a incidência da chuva deve ser evitada.

Em nenhum caso, devem ser utilizadas estruturas de bambu quando a temperatura a que vão estar submetidas exceda 65ºC.

Cuidados especiais devem ser tomados para prevenir falha nas ligações, causadas por deterioração do bambu, devido ao acúmulo de umidade, falta de ventilação em torno das juntas e ataque por insetos.

Quando se usarem conexões metálicas, estas devem ser de material resistente à corrosão ou receberem proteção contra esse desgaste.

Quando se colocar um colmo paralelamente a outro e existir contato direto entre eles, é preciso verificar se não há possibilidade de acúmulo de umidade nesse contado.

Cuidados especiais devem ser tomados para vedar os extremos dos colmos com massa de serra de bambu, pó de serra mesclada com cola ou algo equivalente.

A2.1.1 Considerações Sobre o Dimensionamento

Define-se, no âmbito deste trabalho, dimensionamento das estruturas de bambu como a escolha das dimensões dos colmos que atendam à segurança estrutural. Normalmente, indicam-se os valores mínimos requeridos para o diâmetro externo D_{min} e a espessura da parede do colmo, t_{min}.

Considera-se que a segurança está satisfeita quando, em uma seção crítica, a tensão de cálculo (obtida majorando-se as ações) é menor ou igual à correspondente resistência de cálculo (obtida minorando-se as resistências do bambu) ou, de maneira equivalente, quando o esforço solicitante de cálculo é menor ou igual ao esforço resistente de cálculo (esforço que aqui significa momento fletor, esforço cortante, esforço normal, momento de torção). A majoração das ações é feita segundo a norma brasileira *NBR 8681 Ações e*

Segurança das Estruturas. A minoração da resistência do bambu depende da solicitação em jogo.

A escolha das dimensões dos colmos pode ser feita a partir da igualdade entre a tensão solicitante de cálculo e a resistência correspondente de cálculo (ou da igualdade entre o esforço solicitante de cálculo e o esforço resistente de cálculo).

Na norma colombiana, já estão apresentadas diretamente as tensões admissíveis no *Guadua*, e os diversos coeficientes de modificação.

Na norma brasileira, as resistências à compressão, tração, cisalhamento, etc. devem decorrer do ensaio de corpos de prova extraídos dos colmos que vão ser empregados na obra. O valor característico das propriedades mecânicas do bambu é aquele que tem 5% de probabilidade de não ser atingido em determinado lote de bambu.

Assim, uma resistência característica genérica, $f_{k,}$ pode ser dada por:

$$f_K = f_{0.05} = f_m - 1,645.s_d \qquad (2)$$

Na qual:

f_k = valor característico da resistência;

f_m = valor médio;

s_d = desvio padrão dos resultados da amostra.

Devendo-se ensaiar pelo menos 12 corpos de prova.

Já o valor de cálculo das propriedades mecânicas, f_d, é dado pela equação 3:

$$f_d = k_{mod} f_k / \gamma_m \qquad (3)$$

Na qual:

γ_m é o coeficiente de minoração das propriedades mecânicas, podendo ser tomado igual a 1,4 para dimensionamento e verificações nos estados limites últimos, salvo indicação contrária;

k_{mod} é o coeficientes de modificação da resistência, dados conforme a norma brasileira de madeira NBR 7190 (ABNT,1997) por:

$$k_{mod} = k_{mod,1} \cdot k_{mod,2} \cdot k_{mod,3} \qquad (4)$$

$k_{mod'1}$ = coeficiente que depende do tipo de carregamento, dado na Tabela A1.

Tabela A1. Valores de $k_{mod,1}$.

Tipo de carregamento	$K_{mod,1}$
Permanente	0,7
Longa duração	0,8
Média duração	0,9
Curta duração	1,0
Instantânea	1,1

$k_{mod,2}$ = coeficiente que depende da umidade do ambiente no qual a estrutura vai estar inserida, dado por:

$k_{mod,2}$ = 1,0 se UR< 65%;

$k_{mod,2}$ = 0,8 se %65<UR<85%;

$k_{mod,2}$ = 0,6 se UR ≥ 85%.

$k_{mod,3}$ = coeficiente que depende da qualidade (linearidade, presença de fissuras) do colmo, o que pode também ser função da espécie, do manejo do bambuzal, das fases por que passa após o corte. Pode-se adotar, para colmos secos em boas condições, sem defeitos visuais de fissuras ou furos de ataques de insetos, preferencialmente de plantações manejadas, os valores indicados na Tabela A2.

Tabela A2. Valores de $k_{mod,3}$ para colmos secos sem defeitos visuais.

Espécie de bambu	$K_{mod,3}$
Dendrocalamus giganteus	1,0
Dendrocalamus asper	1,0
Guadua angustifolia	1,0
Phyllostachys heterocycla pubescens-Mosó	1,0
Phyllostachys bambusoides-Matake	1,0
Bambusa vulgaris	1,0
Bambusa tuldoides	1,0

Bambus com defeitos visuais não devem ser aplicados estruturalmente. A prevenção a posteriori de fissuras com aberturas de rachaduras deve ser feita com bandagem compósita têxtil, colocada sobre os nós dos elementos, em bambus secos, ou com braçadeiras metálicas, caso os bambus estejam verdes.

Após a secagem dos bambus em serviço, as braçadeiras devem ser apertadas. A distância entre as braçadeiras ou bandagens, atentando-se para a necessidade de se saltar ou não nós, depende da qualidade da espécie de bambus quanto ao risco de rachaduras, que pode ser controlada pelo percentual de bambus que racham após a secagem até a umidade de equilíbrio com o meio, e da avaliação do técnico responsável pela obra que informará ao calculista sobre a qualidade do lote.

Admite-se, para o bambu, em tração ou em compressão, uma relação linear entre tensão e deformação até a ruptura. Um comportamento elástico pode também ser assumido.

A2.1.2 Propriedades Físicas do Bambu

As propriedades físicas do bambu, como umidade, massa volumétrica e retração, são obtidas conforme a Parte 2 da referida Norma.

O momento de inércia de colmo simples, I, deve ser determinado da forma como se segue:

- Como a seção transversal é elíptica, o diâmetro externo médio de cada extremidade D_m é a média do maior diâmetro e do menor diâmetro, tomados visualmente.
- Como a espessura de parede varia numa mesma seção transversal, a espessura média de parede de cada extremidade t_m é a média entre a maior espessura e a menor espessura, tomadas visualmente.
- A partir desses valores, calcula-se o diâmetro médio do elemento $\overline{D}$ e a espessura média de parede do elemento $\overline{t}$, como a média dos valores extremos, e trata-se a barra como prismática até um comprimento L = 65 $\overline{D}$, quando selecionadas nos trechos basal e médio do colmo, os quais têm uma razão de conicidade menor. Ver item 7.1.2.1.
- Elementos tirados do trecho superior do colmo podem exigir uma análise do elemento como tronco-cônica.
- O diâmetro interno médio do elemento é dado pela equação 5:

$$\overline{d} = \overline{D} - 2\overline{t} \qquad (5)$$

O momento de inércia do elemento tratado como prismático deve ser calculado usando-se esses valores médios, pela equação 6:

$$I = \frac{\pi\left(\overline{D}^2 - \overline{d}^2\right)}{64} \tag{6}$$

Quando se empregam vários colmos para conformar um elemento estrutural (vigas compostas, pilares compostos), a inércia do conjunto é a soma das inércias individuais, a menos que se garanta um trabalho conjunto de todos os colmos, situação na qual a inércia poderá ser calculada como um percentual da inércia bruta obtida pelo teorema dos eixos paralelos. O deslizamento entre as seções na flexão é responsável por drástica redução do momento de inércia do conjunto, devido às deformações localizadas nas paredes do bambu nos pontos de conexão, já que as paredes são relativamente finas.

A área geométrica da seção transversal do colmo é dada por:

$$A = \pi(\overline{D}^2 - \overline{d}^2) / 4 \tag{7}$$

A2.1.3 Peças Fletidas

Seções compostas com feixes de bambu amarrados entre si por fitas de aço devidamente apertadas funcionam com momento de inércia, que se caracteriza pela soma dos momentos de inércia de cada elemento, sem a aplicação do teorema dos eixos paralelos.

Seções compostas de bambus parafusados entre si devem levar em conta o diâmetro dos parafusos, a distância entre os parafusos ao longo da viga e a continuidade ou descontinuidade dos elementos que fazem a composição.

Como o bambu é mais resistente à tração que à compressão, o controle da segurança se faz pela tensão de compressão na flexão. Do mesmo modo, o módulo de elasticidade à tração é normalmente maior do que o módulo de elasticidade à compressão. Contudo, por simplificação, pode-se considerar a linha neutra coincidindo com o centroide da seção. Desse modo, o dimensionamento de vigas de bambu pode ser feito a partir das equações (8) e (10).

$$\sigma_{cd} = M_d / W \tag{8}$$

Com M_d sendo o momento solicitante de cálculo, obtido com a combinação normal de ações da NBR 8681.

W é o momento resistente da seção transversal:

$$W = \frac{2I}{\overline{D}} \tag{9}$$

A segurança está satisfeita se:

$$\sigma_{cd} \leq f_{c0,d} \tag{10}$$

$f_{c0,d,}$ resistência de cálculo à compressão paralela à fibras, que deriva da expressão:

$$f_{c0,d} = k_{mod}.f_{c0,k} / \gamma_m \tag{11}$$

com $\gamma_m = 1,4$

Na norma colombiana, é enfatizada a importância das deflexões das peças fletidas. Um colmo único exercendo a função de viga é pouco eficiente por conta do relativamente baixo valor da rigidez à flexão, por isso, normalmente, o fator limitante no projeto é a flecha das vigas ou deflexão das colunas comprimidas e não a resistência do bambu. O uso de vigas com mais de um colmo ajuda a suprir essa deficiência.

A flecha máxima da viga a longa duração deve ser calculada e comparada com o valor limite. Considera-se que o estado limite de serviço por deflexões excessivas é atingido quando a deflexão máxima do elemento estrutural chega a L/100. A curvatura inicial deve ser levada em conta no cálculo da flecha. A norma colombiana considera valores menores e o local da construção onde o elemento está inserido. Portanto, cabe ao técnico responsável verificar se a flecha máxima traria danos a possíveis elementos frágeis fixos à viga deformada. A questão estética é menos importante porque uma flecha adicional ao bambu, devido ao carregamento, não choca tanto quanto uma flecha de um elemento prismático de aço ou concreto, que tem uma geometria bastante regular. A estética das estruturas de bambu difere bastante da estética das estruturas com barras prismáticas.

Por conta da fluência do bambu, por *default*, considera-se que a flecha ao longo do tempo, devido às ações permanentes, atinja um valor 1,5 vezes

maior que a flecha inicial, obtida usando-se a combinação quase permanente de ações da NBR 8681.

Quando se utiliza mais de um colmo para compor a viga, eles devem estar conectados com parafusos, cintas metálicas ou qualquer outro elemento que garanta o trabalho em conjunto. Esses conectores devem ser projetados para resistir às forças que aparecem nas uniões, e, nos entrenós em que se localizam, devem ser tomadas medidas para evitar falha por corte paralelo às fibras ou esmagamento do colmo.

O espaçamento dos conectores não pode exceder a:

– três vezes a altura total da viga;

– um quarto do vão.

Tal valor correspondente a:

$$s = 7.L / V \tag{12}$$

com:

s = espaçamento dos conectores em mm;

L = vão da viga em mm;

V = esforço cortante de serviço em kN.

O primeiro conector deve situar-se a uma distância de 150 mm, medida a partir da extremidade da viga.

Todos os entrenós de vigas de seção composta que são atravessados ou presos por conectores devem ser preenchidos com argamassa de cimento, obedecendo a uma relação volumétrica de 1:3 e, preferencialmente, usando-se aditivo plastificante ou serragem de bambu ou de madeira com cola ou outro material composto semelhante.

Cargas ou reações de apoio devem atuar nos nós ou tão próximo a eles quanto possível.

As extremidades apoiadas que não coincidem com um nó devem ser preenchidas por meio de algum material compósito para aumentar a resistência ao amassamento.

Nos pontos em que existem cargas concentradas, medidas devem ser tomadas para evitar falha por corte paralelo às fibras ou amassamento do colmo.

As tensões de corte em vigas são normalmente muito pequenas. Porém, a tensão de cisalhamento localizada na linha neutra, nas proximidades do apoio, deve ser verificada, se o comprimento da viga é menor que 25 vezes o diâmetro de sua extremidade.

No caso de vigas compostas por feixe de mais de um colmo, o esforço cortante em cada um deles pode ser considerado como o valor total daquele esforço dividido pelo número de colmos. No caso de vigas compostas de colmos ligados por parafusos, os estados limites acontecem na interface dos elementos, principalmente nas extremidades em que se tem o maior deslizamento, com o esmagamento das paredes do bambu nessas interfaces.

A segurança está satisfeita se:

$$\tau_d \leq f_{v0d} \tag{13}$$

com:

$$\tau_d = 2.V_d / (\pi.\overline{D}t) \tag{14}$$

V_d é o esforço cortante de cálculo (obtido com a combinação normal de ações).

A resistência característica ao cisalhamento paralela às fibras, $f_{v0,k}$, na falta de dados experimentais, pode ser tomada igual a:

$$f_{v0,k} = 0{,}11\, f_{c0,k} \tag{15}$$

e

$$f_{v0d} = k_{mod}.f_{c0,k} / \gamma_m \tag{16}$$

com $\gamma_m = 1{,}4$

A segurança ao esmagamento das paredes do colmo será atendida se a força de cálculo obtida a partir da combinação normal de ações satisfaz a:

$$F_d \leq \left[2.f_{c\,90,d}.\,t.\,a\right] / \left(3.D / t\right) \tag{17}$$

F_d = força concentrada de cálculo aplicada;

$f_{c90,d}$ = resistência à compressão de cálculo perpendicular à fibra, dado com γ_m = 1,4;

t = espessura da parede;

a = comprimento de contato da força aplicada com o colmo;

D = diâmetro externo do bambu no local de aplicação da carga.

Todos os colmos de bambu submetidos a esforços de compressão perpendicular às fibras devem ter a parte interna em que há aplicação da força concentrada preenchidas com argamassa de cimento ou resina expansiva de alta densidade. Caso essa providência não seja tomada, adotar na equação 16, $\gamma_m = 3$.

$$f_{c90,d} = k_{mod} . f_{c90,k} / \gamma_m$$

Devem ser evitadas perfurações nas vigas. Caso sejam necessários, os furos devem constar no projeto, observando-se o que se segue:

a) Não devem ser feitos horizontalmente, na altura da linha neutra. Em caso obrigatório, deve-se tomar providencias para evitar falha por cisalhamento paralelo às fibras e adotar:

$$f_{v0,d} = k_{mod} . f_{v0,k} / \gamma_m$$

com $\gamma_m = 1,8$

b) Caso existam furos na zona tracionada de elementos estruturais, a resistência à tração de cálculo paralela às fibras, $f_{t0,d}$, a considerar é:

$$f_{t0,d} = k_{mod} . f_{t0,k} / \gamma_m$$

com $\gamma_m = 1,8$

c) O diâmetro do furo deve ser de no máximo 25 mm.

Para vigas nas quais atuem cargas axiais e de flexão, a interação das tensões aplicadas deve ser considerada.

A norma colombiana adota um coeficiente de modificação que leva em conta a estabilidade lateral. Tal coeficiente depende da relação altura/largura (d/b) da viga composta, variando de 1,0 para d/b = 1 até 0,87 para d/b = 5.

A2.1.4 Peças Comprimidas

Para pilares, devem ser selecionados os colmos mais retos possíveis, com imperfeição acidental $e_a \leq \frac{L}{200}$

A esbeltez, λ, máxima tolerada para um pilar de bambu é 240. Esse índice pode ser obtido pela expressão:

$$\lambda = (L / i) \tag{18}$$

com o raio de giração i, dado por:

$$i = (I / A)^{1/2} \tag{19}$$

O bambu sempre possui imperfeições iniciais, de forma que, trabalhando como pilar, está sujeito à flexo-compressão. A segurança é controlada pela tensão de compressão máxima, segundo a expressão:

$$\sigma_{Nd} / f_{co,d} + \sigma_{Md} / f_{c0,d} \leq 1 \tag{20}$$

Nessa expressão:

$$\sigma_{Nd} = N_d / A \tag{21}$$

é a tensão de compressão devida ao esforço normal de cálculo;

N_d o esforço normal de cálculo obtido com a combinação normal de ações da NBR 8681;

A = área da seção transversal do bambu, dada em 8.4.2;

σ_{Md} é a tensão de compressão devida ao momento fletor de cálculo, igual a σ_{cd} da expressão (8) com o momento de cálculo dado por:

$$M_d = N_d.e / (1 - N_d / F_E) \tag{22}$$

Sendo:

$$e = e_i + e_a + e_c \tag{23}$$

A excentricidade total é, dessa forma, composta pela soma da excentricidade inicial (e_i), da excentricidade das imperfeições acidentais (e_a) que pode ser medida e da excentricidade devida à fluência do bambu (e_c), dadas pelas expressões:

$$e_i = M_{1d} / N_d \geq /20 \tag{24}$$

M_{1d} = momento devido à excentricidade acidental.

$$e_a \geq L/200 \tag{25}$$

caso não seja medida.

$$e_c = \left(e_{qp} + e_a\right)[2,718^{\alpha} - 1] \tag{26}$$

com:

e_{qp} = excentricidade com momento fletor (M_{qp}) e esforço cortante (N_{qp}), obtidos usando-se a combinação quase permanente de ações da NBR 8681.

$$e_{qp} = M_{qp} / N_{qp} \tag{27}$$

$$\alpha = \varphi.N_{qp} / \left[F_E - N_{qp}\right] \tag{28}$$

φ = coeficiente de fluência do bambu aqui considerado igual a 0,8;

F_E = força de Euler dada por:

$$F_E = (\pi^2.E_{co,d.I})/L_0^2 \tag{29}$$

Peças com esbeltez $\lambda \leq 70$ submetidas à compressão dispensam a consideração da fluência do bambu.

No caso de colunas compostas por mais de um colmo, tem-se:

- em colmos sem ligação entre si, o momento de inércia do pilar é a soma das inércias individuais;
- quando eles são unidos ao longo do comprimento, o momento de inércia do conjunto pode ser calculado pelo teorema de Steiner dos eixos paralelos.

$$I = \Sigma I_i + \Sigma A_i . d_i$$

- com I_i e A_i representando o momento de inércia e a área do iésimo colmo e d_i a distância do respectivo centróide ao centróide conjunto de colmos;
- quando os colmos estão afastados entre si, conectados não continuamente, vale a equação:

$$I = \Sigma A_i.d_i$$

Já a norma colombiana classifica as colunas em curta, intermediária e longa. A limitação da esbeltez máxima é de $\lambda = 150$.

A proposta de norma trata ainda de ligações, estruturas reticuladas, treliças e controle de qualidade. Reconhece-se que a norma colombiana trata as ligações de maneira mais completa, apresentando desenhos que não constam na proposta brasileira.

No que diz respeito às estruturas reticuladas e treliças, a menos que um modelo mais geral seja usado, elas devem ser representadas, para fins de análise, por elementos lineares conectados entre si.

As linhas que representam os elementos da estrutura devem estar dentro do perfil desses componentes, e, nos elementos externos, deve coincidir com o seu eixo.Elementos de viga fictícia podem ser usados para modelar as conexões excêntricas ou apoios. A orientação desses elementos deverá coincidir, tanto quanto possível, com a direção da força no elemento. Na análise estrutural, a não linearidade geométrica de um elemento comprimido (instabilidade por flambagem) poderá ser desconsiderada, se ela for levada em conta na verificação da resistência do elemento individual.

A análise de estruturas reticuladas e treliças deve ser feita a partir dos princípios conhecidos da mecânica. A partir deles, é feita a determinação das deformações dos elementos e das articulações. A influência de excentricidades de apoio e da rigidez da estrutura de suporte são levados em conta na determinação das forças e momentos nos elementos estruturais.

Se as retas que representam as barras dos elementos internos não coincidem com o seu eixo, a influência da excentricidade deve ser levada em conta na verificação da resistência desses elementos. Como o diagrama tensão-deformação para o bambu é linear até as vizinhanças da ruptura,as análises lineares dão bons resultados, se ligações parafusadas são usadas, apesar de os bambus não serem perfeitamente retos.

As extremidades de elementos estruturais que convergem numa ligação podem ser geralmente consideradas como livres para rotacionar.

Deslizamentos nas articulações devem ser levados em conta na verificação da resistência da estrutura, a menos que sua influência sobre a distribuição de forças internas e momentos possa ser considerada desprezível.

O travamento dos nós das treliças por mãos francesas ou contraventamentos em X é fundamental para a consideração dos comprimentos

livres de flambagem, iguais ao comprimento físico da peça. Caso uma das extremidades esteja livre para transladar, o comprimento de flambagem da barra deve ser considerado igual a 2L.

A verificação da estabilidade lateral (fora do plano) dos elementos deve ser feita.

A2 Análise Simplificada

Como uma alternativa à análise global, uma análise simplificada é permitida para treliças compostas por triângulos e retângulos que cumpram as seguintes condições:

- o módulo externo é composto por um único triângulo ou retângulo;
- uma parte da estrutura resistente está verticalmente abaixo do nó de apoio;
- a altura da treliça excede 0,15 vezes o vão no caso de uma treliça triangular, ou 0,10 vezes o vão no caso de uma treliça com modulo retangular.

As forças axiais nos membros devem ser determinadas admitindo-se que cada ligação entre os elementos é articulada. Momentos fletores em um elemento contínuo sobre uma junta devem ser determinados como se tal componente fosse uma viga ininterrupta apoiada nessa junta. Os efeitos da deflexão ou da fixação parcial da conexão devem ser considerados.

Um controle da qualidade passa pela conveniente classificação dos colmos de bambu a serem usados na estrutura.

Os colmos de bambu devem ser escolhidos e classificados de forma a garantir que suas propriedades sejam satisfatórias para uso na engenharia, e especialmente que as propriedades de resistência e de rigidez sejam confiáveis.

As regras de classificação devem ser baseadas em uma avaliação visual do bambu, ensaios não destrutivos de uma ou mais propriedades, ou ainda na combinação dos dois métodos.

Especial atenção será dada às propriedades como a idade, a conicidade do colmo, a linearidade, o comprimento dos entrenós, o conteúdo de umidade e a distribuição de nós.

O manual de garantia da qualidade deve abordar assuntos necessários ao programa de garantia de qualidade, incluindo o seguinte:

- Especificações de materiais, incluindo a entrada de material, inspeção e exigências de aceitação;

- Testes de inspeção de garantia da qualidade e procedimentos de aceitação;
- Frequência da coleta de amostras para inspeção;
- Procedimentos a serem seguidos em caso de não conformidade.

O manual de controle da qualidade deve conter um programa mínimo de ensaios necessário para manter a qualidade do produto.

O nível de controle selecionado será consistente com os valores de projeto e o uso previsto para o material.

Quando a análise dos dados indica que as propriedades do material estão abaixo do nível de controle exigido, o lote correspondente estará sujeito a reexame.

A2.1 Parte 2 – Propriedades Físicas e Mecânicas

Nessa parte da norma, procurou-se manter os ensaios como propostos na ISO (ISO 2004b). Apenas em relação ao ensaio de cisalhamento paralelo às fibras, sugere-se um teste proposto por K. Ghavami, em que um corpo de prova prismático, tal como indicado na Figura 1, recebe dois cortes perpendiculares até o centro e é tracionado. Acontece então a ruptura na seção B-C. A força máxima dividida pela área de cisalhamento dá a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

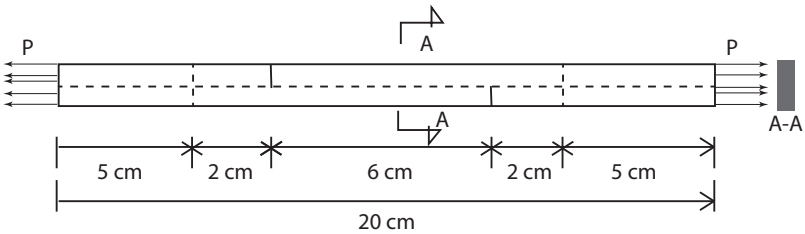


Figura 1. Corpo de prova para ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

A3 Considerações Finais

O bambu, material renovável, para ser difundido como material de construção tem necessariamente que dispor de normas técnicas como os demais materiais disponíveis no mercado. Poucos países dispõem

dessas normas, visto que na realidade só os materiais industrializados são considerados e ensinados nas escolas de engenharia e arquitetura. Com os problemas ambientais que ameaçam o planeta, renovou-se a procura por materiais energeticamente mais eficientes. Em consequência disso, houve o ressurgimento da construção com terra e construção com bambu. Uma das dificuldades de difundir o bambu como material de construção no Brasil decorre de sua pouca disponibilidade. No entanto, já surgiu no país a Associação Brasileira de Produtores de Bambu, e a expansão dos plantios está acontecendo. Também a propagação *in vitro* está se desenvolvendo e certamente em um futuro próximo o bambu estará disponível para atendimento de uma maior demanda, com preços competitivos em relação aos demais materiais estruturais. As abordagens técnicas deste texto deram apenas uma ideia inicial de como será a norma brasileira de estruturas de bambu, ainda em processo de estudos, crítica e complementação, podendo, portanto, sofrer alterações até o texto final que permitirá o uso oficial em todo o país.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS − ABNT. **NBR 6120:** Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS − ABNT. **NBR 7190:** Projeto de estruturas de madeira – Procedimento. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS − ABNT. **NBR 8681:** Ações e segurança das estrutura – Procedimento Rio de Janeiro,.2003

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS − ABNT. **NBR 6123:** Forças devidas ao vento em edificações – Procedimento. Rio de Jneiro, 2013.

EL INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN – ICONTEC. **NSR 10.** Estructuras de madera y estructuras de guadua. Bogotá, 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION − ISO. **ISO 22156:** Bamboo – Structural design. 2004a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION − ISO. **ISO 22157:** Bamboo – Determination of physical and mechanical properties of bamboo. 2004b.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-5953-029-2.2017C0013.p.349-370

13 Avaliação da Durabilidade de Concretos Estruturais com Agregados Leves Inovadores Utilizando a Carbonatação Acelerada

Bruno Carlos de Santis
Juliano Fioreli
Holmer Savastano Junior
João Adriano Rossignolo

Este trabalho tem por objetivo a avaliação da durabilidade de concretos estruturais com agregados leves inovadores, utilizando a metodologia de carbonatação acelerada. Tal metodologia foi definida, inicialmente, considerando as etapas de moldagem, cura e preparação dos corpos de prova de concreto de cimento Portland, assim como as condições de exposição (idade, tempo de exposição, teor de CO_2, temperatura e umidade relativa). Para avaliação e validação da metodologia, foram analisados concretos com agregados convencionais (basalto), agregados leves comercias (argila expandida) e dois tipos de agregados leves inovadores (argila vermelha calcinada), produzidos especificamente para o presente estudo. Os resultados desta pesquisa indicam que a metodologia de carbonatação acelerada escolhida foi eficaz na identificação da influência dos agregados leves inovadores na velocidade da frente de carbonatação em concretos estruturais.

1. Introdução

O concreto é um material de construção consagrado em todo o mundo, com diferentes tipos de utilização residencial, industrial, comercial e de infraestrutura. O grande número de utilização desse material dá-

se, principalmente, pelas características ótimas que o concreto estrutural promove às estruturas, devido à combinação do concreto com o aço.

A junção desses dois materiais distintos possibilita a confecção de estruturas amplas, com grandes vãos, curvas e diferentes tipos de arquitetura. Além do viés construtivo, a junção do concreto com o aço promove também uma maior proteção à armadura de aço, uma vez que o concreto que reveste o aço o protege física e quimicamente da ação do ambiente.

A substituição dos agregados graúdos convencionais por agregados leves proporciona a produção de concretos leves, com massa específica menor que a dos concretos convencionais, gerando uma economia nas fundações e em fôrmas e cimbramentos, com a possibilidade de aplicação em diversas áreas da construção civil, como em edificações pré-fabricadas, pontes e plataformas marítimas (SANTIS, 2012).

A durabilidade das armaduras de aço nas estruturas de concreto armado depende da espessura da camada de cobrimento do concreto, que deve ter uma proporção adequada, alta compacidade e ser homogênea, além de possuir alcalinidade apropriada, uma vez que quanto mais alcalina e mais espessa a camada de cobertura do concreto, maior a proteção que ele exercerá sobre a armadura, podendo o concreto armado ser mais durável (CAFANGE, 2011).

Porém, a partir do desenvolvimento de cimentos com características especiais, bem como do desenvolvimento de técnicas construtivas inovadoras, muitas vezes, as estruturas de concreto são projetadas prevendo-se um cobrimento mínimo, que, atrelado ao grande aumento da poluição das cidades, prejudica a proteção oferecida pelo concreto à armadura, causando uma diminuição na durabilidade dos concretos estruturais.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), a durabilidade das estruturas de concreto define-se pela capacidade da estrutura em resistir às influencias ambientais previstas e pré-definidas pelo autor do projeto e o contratante, no momento da execução do projeto de construção.

A durabilidade dos concretos pode ser influenciada por diversos fatores, dentre eles a deficiência de projetos específicos e detalhados das construções, falhas na execução das estruturas, utilização de materiais inadequados nas construções e falta de manutenção dos edifícios.

Os custos de reparos e substituições em estruturas de concreto têm aumentado substancialmente. Em países desenvolvidos, estima-se que cerca de 40% dos recursos empregados no setor da construção civil são injetados em recuperação, manutenção e reformas de estruturas, e, em países em desenvolvimento, calcula-se que esses valores podem chegar a 60% dos recursos da indústria da construção civil (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

De acordo com Silva (2007), cerca de 30% das patologias observadas em estruturas de concreto são causadas pela corrosão das armaduras, decorrente do efeito da carbonatação, que consiste em um processo físico-químico de difusão e dissolução do gás carbônico nos poros do concreto.

Ainda segundo Silva (2007), a carbonatação ocorre naturalmente em estruturas de concreto expostas ao CO_2, que se difunde pela superfície do concreto, pela presença de umidade e dos poros do concreto.

Nesse contexto, concretos leves estruturais merecem atenção especial, uma vez que, por serem constituídos de agregados mais porosos, muitas vezes apresentam maior porosidade e, consequentemente, maior possibilidade de absorção de água que os concretos convencionais, podendo assim estar mais suscetíveis ao processo de carbonatação.

O dióxido de carbono penetra nos poros do concreto pelo processo de difusão, por meio de fissuras ou poros interconectados. Em alguns casos, agregados muito porosos também influenciam no processo de difusão do CO_2 no concreto, fato que está diretamente ligado à porosidade dos concretos, posto que quanto maior a quantidade de poros interconectados, maior a difusão do CO_2 para o interior dos concretos (SILVA, 2007).

Nessa perspectiva este trabalho tem por objetivo avaliar a influência dos agregados leves (comerciais e inovadores) na velocidade de carbonatação em concretos estruturais.

2. Carbonatação em Concretos Estruturais

A junção das propriedades do concreto com as do aço transformou o concreto armado em um dos materiais de construção mais utilizados em todo o mundo, possibilitando construções com formas complexas e com grandes vãos livres.

Além disso, devido à sua alta alcalinidade, o concreto promove uma proteção para as armaduras de aço, que, quando em contato com o concreto, recobrem-se com uma camada passivante, capaz de as protegem das ações do ambiente.

A formação desse ambiente alcalino dá-se pela hidratação do cimento, que gera, genericamente, silicatos de cálcio hidratados (C-S-H) e hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), sendo os primeiros responsáveis pela resistência do concreto e os segundos pela criação do ambiente alcalino propriamente dito (pH na ordem de 13) (WERLE, 2010).

Segundo Werle (2011), o contato do CO_2 presente na atmosfera com os produtos da hidratação do concreto (presentes nos poros intersticiais) gera reações químicas que podem desencadear o processo de carbonatação dos concretos.

A carbonatação mostra-se como um dos principais mecanismos de envelhecimento dos concretos, podendo acarretar o processo de corrosão das armaduras, que muitos estudiosos consideram como o mais grave e frequente problema estrutural dos concretos armados, podendo causar até a ruína das estruturas (CAFANGE, 2011).

Segundo Rilem (1999), a carbonatação é um processo que ocorre naturalmente nas estruturas de concreto armado e é definida como a neutralização da fase líquida intersticial saturada de hidróxido de cálcio e outros compostos alcalinos hidratados do concreto, como o NaOH e o KOH, pelo CO_2 presente na atmosfera, que precipitam como carbonato de cálcio.

Por ser menos solúvel que os outros álcalis do cimento, o hidróxido de cálcio apresenta-se normalmente nos poros do concreto na forma de cristais, enquanto os álcalis apresentam-se dissolvidos na forma de íons. Dessa forma, a reação de carbonatação começa pelos álcalis NaOH e KOH, passando depois para o hidróxido de cálcio, uma vez que sua solubilidade depende da concentração de OH^- na solução intersticial (GOMES, 2006).

Antes do início da carbonatação propriamente dita, ocorre a difusão do CO_2 nos poros do concreto (na presença de umidade) para posteriormente ocorrer a reação química do CO_2 com os componentes alcalinos, como ilustram as Equações 1, 2 e 3 (ANDRADE, 1992).

$$Ca(OH)_2 \rightarrow Ca^{2+} + 2OH^{-}(\text{fase aquosa dos poros}) \quad \text{(Eq. 1)}$$

$$CO_2 + 2OH^{-} \rightarrow CO_3^{2-} + H_2O \text{ (solubilização do } CO_2) \quad \text{(Eq. 2)}$$

$$Ca^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow CaCO_3(\text{carbonatação}) \quad \text{(Eq. 3)}$$

Segundo Hoppe Filho (2008), além da reação principal de transformação de um composto cristalino ($Ca(OH)_2$) em outro também cristalino ($CaCO_3$), ocorrem também outras reações, as quais se verificam a formação de compostos cristalinos como o Al_2O_3 e o Fe_2O_3.

O elevado pH do concreto (em torno de 13) permite a passivação da armadura, protegendo-a contra a corrosão, uma vez que nessas condições extremamente alcalinas ocorre a formação de uma fina camada oxidante que envolve e protege o aço da armadura. Porém, quando o hidróxido de cálcio é consumido pelas reações de carbonatação, ocorre a diminuição do pH do concreto, ocasionando a despassivação da armadura (WERLE, 2010).

Hoppe Filho (2008) ressalta que o processo de corrosão da armadura não se inicia imediatamente com o início do processo de carbonatação do concreto, mas sim no instante da despassivação da armadura, causada pela remoção da camada oxidante que a envolve.

Segundo Reis (2013), o processo de carbonatação necessita de umidade para ocorrer, uma vez que o processo consiste na difusão do CO_2 e dissolução desse composto químico na água presente nos poros do concreto. Com a presença de CO_2 na água dos poros, ocorre a diminuição da concentração de íons OH, ocasionando diminuição do pH do concreto.

Dessa forma, a área de avanço da carbonatação pode ser dividida em 3 partes, sendo elas: região carbonatada (pH abaixo de 9), denominada profundidade de carbonatação; região em carbonatação (pH entre 9 e 12), denominada frente de carbonatação; e região sem carbonatação (pH acima de 12) (KULAKOWSKI, 2002).

Portanto, a durabilidade dos concretos está ligada à sua estrutura porosa e à conectividade dos poros. Dessa forma, a durabilidade relaciona-se à permeabilidade dos concretos, e não apenas à porosidade, posto que a melhoria da zona de transição pasta-agregado contribui significativamente

para a redução da permeabilidade, tendo em vista que a origem das microfissuras dos concretos ocorre nessa região. Isso fica evidente quando se estuda a carbonatação dos concretos, que ocorre intensamente em regiões de maior permeabilidade nos concretos (SANTIS, 2016).

Portanto, durante o processo de dosagem, produção e cura dos concretos deve haver rigoroso cuidado, conhecendo-se os materiais a serem utilizados e os processos para a produção dos concretos, principalmente se forem utilizados agregados leves para a produção de concretos leves estruturais, procurando-se assim diminuir a quantidade dos poros dos concretos e suas conectividades, menores profundidades de carbonatação e maior durabilidade dos concretos.

3. Fatores que Influenciam o Processo de Carbonatação em Concretos

Diferentes tipos de concreto apresentam diferentes velocidades de carbonatação, uma vez que a difusão do CO_2 varia com o tipo de cimento e a relação água/cimento utilizados para a confecção do concreto, o tipo e o tempo de cura do concreto, a temperatura e umidade de exposição da estrutura e a resistência à compressão do concreto (CASCUDO, 1997).

3.1. Concentração de CO_2

A difusão do CO_2 do ambiente externo para o ambiente interno do concreto dá-se pela diferença de concentração desse gás entre os dois ambientes. Dessa forma, segundo Hoppe Filho (2008), quanto maior a diferença de concentração de CO_2 entre os ambientes externos e internos, maior será a penetração do gás no concreto.

Segundo Helene (1993), a concentração de CO_2 no meio externo varia de 0,03% a 0,05% para atmosferas rurais, de 0,1% a 1,2% para ambientes urbanos e acima de 1,8% para ambientes onde não há troca de ar, quando a atmosfera já está “viciada”.

A escolha de concentração de CO_2 para realização de ensaio acelerado de carbonatação não é consenso entre os pesquisadores, sendo encontrados na literatura trabalhos que utilizam concentração de CO_2 variando de 1% a 100% (PAULETTI, 2009).

Ainda segundo Pauletti (2009), diversos ensaios realizados por diferentes pesquisadores indicam que o incremento da difusão do CO_2 dá-se até uma concentração de cerca de 10%. Porém, como já mencionado, não há consenso sobre isso, uma vez que diferentes trabalhos científicos apresentam concentrações de CO_2 superiores a esse patamar.

A autora ainda ressalta que a norma europeia (ANFOR, NF EN 13295, 2004) indica que, para ensaios acelerados de carbonatação, a concentração ótima de CO_2 deve ser de 1%, justificando que os produtos formados nas reações de carbonatação durante o ensaio são os mesmos formados em condições naturais e reais de concentração de CO_2.

3.2. Umidade

A umidade do ensaio de carbonatação não diz respeito à umidade do concreto propriamente dito, mas concerne à umidade de equilíbrio entre o concreto e o meio externo, ou seja, à umidade do ambiente de exposição do concreto.

O processo de carbonatação em ensaios acelerados não é perceptível em ambientes com umidade relativa inferior a 50% mas, por outro lado, quando a umidade do ambiente é muito alta, ocorre a saturação dos poros, causando diminuição na potencialidade de difusão do CO_2, diminuindo-se assim o processo de carbonatação (WERLE et al., 2011)

Ainda de acordo com Werle et al. (2011), alguns estudos indicam que as maiores velocidades de carbonatação ocorrem em ambientes com umidade variando de 40% a 80%, outros indicam que a umidade ótima para o ensaio acelerado é a que varia de 50 a 70%, mas a maioria dos estudos atuais têm adotado umidade relativa igual a 60±5%.

3.3. Temperatura

Segundo Cafange (2011), a temperatura de exposição das estruturas de concreto pode contribuir para a melhoria das condições microestruturais do concreto, devido à aceleração de reações de hidratação do cimento.

Em contrapartida, grandes variações térmicas podem causar choques térmicos nas estruturas de concreto, que, por serem compostas de diferentes materiais com características térmicas diferentes, podem causar microfissuras

nos concretos, possibilitando assim maior facilidade para penetração de agentes agressivos (PELLIZZER, 2015).

Porém, segundo Pauletti (2009), a temperatura exerce pouca influência no processo de carbonatação dos concretos, levando em consideração que estudos indicam que a variação da temperatura entre 20ºC e 40ºC exerce pouca ou nenhuma influência em ensaios acelerados de carbonatação.

3.4. Cimento

O tipo e a quantidade de cimento influenciam no processo de carbonatação dos concretos devido à quantidade de compostos alcalinos disponíveis para reagir com o CO_2 da atmosfera, visto que quanto mais puro e fino o cimento, maior a produção de álcalis e, consequentemente, maior a quantidade de produto para reagir com o CO_2, aumentando-se a carbonatação do concreto (WERLE, 2010).

Segundo Cafange (2011), as adições de escórias e pozolanas nos cimentos tipo CPIII e CP IV contribuem para o aumento da velocidade de carbonatação dos concretos produzidos com esses tipos de cimento, uma vez que esses tipos de cimento apresentam menores quantidades de $Ca(OH)_2$, facilitando-se assim a difusão do CO_2.

3.5. Cura

As condições de cura do concreto interferem diretamente nas propriedades do produto final, pois quanto melhores as condições de cura, melhores as condições de hidratação do concreto, tornando-o menos poroso e, consequentemente, menos passível à difusão do CO_2.

Segundo Pauletti (2009), a cura submersa ou úmida propicia melhores condições de hidratação do cimento, causando fechamento dos poros e consequentemente diminuição da velocidade de carbonatação dos concretos.

3.6. Tipo de Agregado

Por serem considerados inertes ao processo de carbonatação, os tipos de agregado são tratados como fator de pouca influência no processo de carbonatação dos concretos.

Porém, as características dos agregados, como granulometria, porosidade e absorção de água, interferem diretamente nas características de moldagem dos concretos, gerando grandes influências na zona de transição pasta – agregado que, em razão da utilização de agregados porosos, pode tornar-se 50% mais porosa que a pasta de cimento (CAFANGE, 2011).

Durante o período inicial de hidratação, a zona de transição é vulnerável, devido às deformações entre a pasta de cimento e o agregado. Essas deformações geram pequenas fissuras, que contribuem diretamente para o aumento da velocidade de carbonatação dos concretos (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Além disso, com a utilização de agregados porosos, com camada externa não vitrificada e com conectividade entre os poros, como ocorre em alguns casos com agregados leves de argila calcinada ou agregados provenientes de resíduos de construção e demolição, altera-se consideravelmente a porosidade dos concretos, tornando-os mais porosos e, possivelmente, mais suscetíveis ao processo de carbonatação (WERLE et al., 2011).

Ainda segundo Werle et al. (2011), essa afirmação ainda não é consensual entre os pesquisadores, tendo em vista que, em alguns trabalhos, a substituição de agregados convencionais por agregados provenientes de resíduos de construção e demolição não causou aumento da profundidade de carbonatação dos concretos. Os autores explicam que esse comportamento dá-se pela formação de uma barreira localizada na interface pasta/agregado, a qual minimiza a profundidade de carbonatação dos concretos.

4. Materiais e Métodos

Para a presente pesquisa, foram confeccionados corpos de prova de concreto cilíndricos, com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, utilizando-se agregados leves de argila calcinada proveniente de Itu/SP e Porto Ferreira/SP, agregados leves de argila expandida e agregados convencionais de basalto (SANTIS, 2012).

Os corpos de prova foram confeccionados no Laboratório de Construção Civil (LCC) do Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, SP - USP. A Tabela 1 apresenta as características dos quatro tipos de agregados utilizados.

Tabela 1. Características físicas dos agregados graúdos utilizados na produção dos concretos. Fonte: Santis, 2012.

Agregado	Absorção de água (%) – 24 horas de imersão	Massa específica aparente (kg/m³)	Resistência à compressão (MPa)*
Brita nº 1	2,00	2934	-
Argila expandida	12,61	975	-
Argila calcinada de Itu	15,67	1791	39,50
Argila calcinada de Porto Ferreira	21,64	1555	18,00

*Método adaptado da NBR 5739 (ABNT, 2007) para corpos de prova cerâmicos cilíndricos com base de 15 mm e altura de 30 mm.

Conhecendo-se as características de cada um dos agregados, procurou-se manter em um mesmo patamar os consumos de cimento para os quatro tipos de concreto, assim como a relação água/cimento de 0,5 e o volume dos agregados miúdos e graúdos para todas as dosagens, como ilustra a Tabela 2.

Tabela 2. Consumo real dos materiais para a produção de 1 m³ de concreto.

CP	Cimento (kg)	Areia (kg)	Agregado (kg)	Relação água/cimento
Brita nº 1	387,53	968,84	821,58	0,5
Argila expandida	377,40	943,51	271,73	0,5
Argila calcinada de Itu	389,17	972,92	537,06	0,5
Argila calcinada de Porto Ferreira	383,94	959,84	479,92	0,5

Os concretos foram secos no ambiente do laboratório por 24 horas. Após esse período, foram desenformados e submetidos ao processo de cura em uma câmara úmida, com umidade variando de 90% a 95% e temperatura variando de 20ºC a 23ºC, até atingirem a idade de 28 dias. Após esse período, foram transferidos para uma sala climatizada, com temperatura variando de 22ºC a 26ºC e umidade variando de 62% a 78%, na qual permaneceram até 91 dias de idade. Após esse período, foram transferidos para o ambiente do laboratório, em que permaneceram por um período de 365 dias, para garantir a uniformidade da umidade dos corpos de prova. Em seguida, foram submetidos ao processo de corte, em três partes cilíndricas iguais, com 100 mm de diâmetro e 66,67 mm de altura, como ilustram as Figuras 1 e 2.

Figura 1. Corte dos corpos de prova.

Figura 2. Corpos de prova cortados.

Após o corte, os corpos de prova permaneceram em descanso no ambiente do laboratório por um período de 3 dias, apenas para reestabelecimento da umidade uniforme, uma vez que para o corte dos corpos de prova foi utilizada uma serra com jato de água.

Em seguida, os corpos de prova foram selados por meio da aplicação de um verniz acrílico incolor de secagem rápida, específico para estruturas de concreto. Os corpos de prova foram selados em suas extremidades laterais e

em uma de suas outras extremidades, sempre escolhendo a que apresentava pior acabamento. Foram aplicadas 2 demãos de verniz em cada um dos corpos de prova.

Após a selagem dos corpos de prova com verniz, eles foram envoltos por 5 camadas de filme de PVC e, em seguida, embalados por um saco plástico, como ilustra a Figura 3.

Figura 3. Corpos de prova ensacados para o ensaio de carbonatação.

Após a preparação, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de carbonatação acelerada em câmara de carbonatação com teor de CO_2 igual a 10%, umidade de 65% e temperatura de 23ºC, como ilustra a Figura 4.

Figura 4. Corpos de prova na câmara de carbonatação acelerada.

Além do ensaio de carbonatação, os corpos de prova, antes de serem cortados, foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão, absorção de água e massa específica aparente [NBR 5739, (ABNT, 2007), NBR 9778 (ABNT, 2005, versão corrigida 2009)].

5. Resultados e Discussões

As propriedades dos concretos no estado fresco são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Propriedades dos corpos de prova no estado fresco.

CP	Massa específica (Kg/m^3)	Slump (mm)	Teor de ar incorporado (%)
Brita nº 1	2386	40	2,03
Argila expandida	1766	50	4,59
Argila calcinada de Itu	2151	45	2,66
Argila calcinada de Porto Ferreira	2124	50	2,82

Analisando-se a Tabela 3, observa-se que os valores de massa específica no estado fresco dos concretos variaram entre 2386 Kg/m^3 para os corpos de prova produzidos com brita como agregado e 1766 Kg/m^3 para os corpos de prova produzidos com agregados de argila expandida. Os corpos de prova produzidos com os agregados de Itu e Porto Ferreira apresentaram uma redução em massa de 10,93% e 12,34% respectivamente, quando comparados aos corpos de prova produzidos com brita.

Ainda examinando-se a Tabela 3, percebe-se que os corpos de prova produzidos com os agregados de Itu e Porto Ferreira apresentaram valores de teor de ar incorporado muito próximos, 2,66% e 2,82%, respectivamente, permanecendo em um patamar intermediário entre os corpos de prova produzidos com brita (2,03%) e argila expandida (4,59%).

Os valores de resistência à compressão dos concretos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Valores de resistência à compressão dos corpos de prova de concreto.

Resistência à compressão (MPa)						
CP	**7 dias**	**Desvio padrão**	**28 dias**	**Desvio padrão**	**91 dias**	**Desvio padrão**
Brita nº 1	25,55	1,15	34,07	1,38	42,77	1,03
Argila expandida	20,32	0,58	23,68	0,59	28,08	0,71
Argila calcinada de Itu	18,95	0,68	23,94	0,96	29,70	0,72
Argila calcinada de Porto Ferreira	16,22	0,86	19,79	1,35	25,82	1,24

De acordo com a Tabela 4, aos 7 dias de idade, os valores de resistência dos corpos de prova são muito próximos, uma vez que, nessa idade, a pasta de cimento ainda não atingiu sua resistência máxima, e, com isso, os agregados apresentam menos influência na resistência dos concretos do que em idades mais avançadas.

Já aos 91 dias de idade, quando a pasta de cimento, areia e água já atingiu boa parte de sua resistência, os agregados apresentam grande influência na resistência dos concretos, uma vez que concretos produzidos com brita (agregado com valor de resistência à compressão da ordem de 120 MPa) apresentaram valor de resistência à compressão (42,77 MPa) superior aos valores observados para os concretos confeccionados com agregados leves.

A Tabela 5 apresenta os valores de absorção de água e massa específica aparente seca dos corpos de prova de concreto.

Tabela 5. Absorção de água e massa específica aparente seca dos corpos de prova de concreto.

CP	Absorção de água – 24 horas (%)	Absorção de água - 48 horas (%)	Absorção de água 72 horas (%)	Massa específica aparente seca (Kg/m^3)
Brita nº 1	4,71	5,87	6,28	2235
Argila expandida	6,6	8,84	9,23	1608
Argila calcinada de Itu	10,53	10,88	11,02	1948
Argila calcinada de Porto Ferreira	11,31	11,97	12,12	1896

Analisando-se a Tabela 5, percebe-se que os corpos de prova absorvem a maior quantidade de água nas primeiras 24 horas de imersão, principalmente os corpos de prova confeccionados com agregados leves de Itu e Porto Ferreira, uma vez que esses tipos de agregados apresentam elevados valores de absorção de água, quando comparados à argila expandida e à brita, o que explica os elevados valores de absorção de água apresentados pelos concretos produzidos com agregados leves de argila calcinada de Itu e Porto Ferreira, como ilustra a Figura 5.

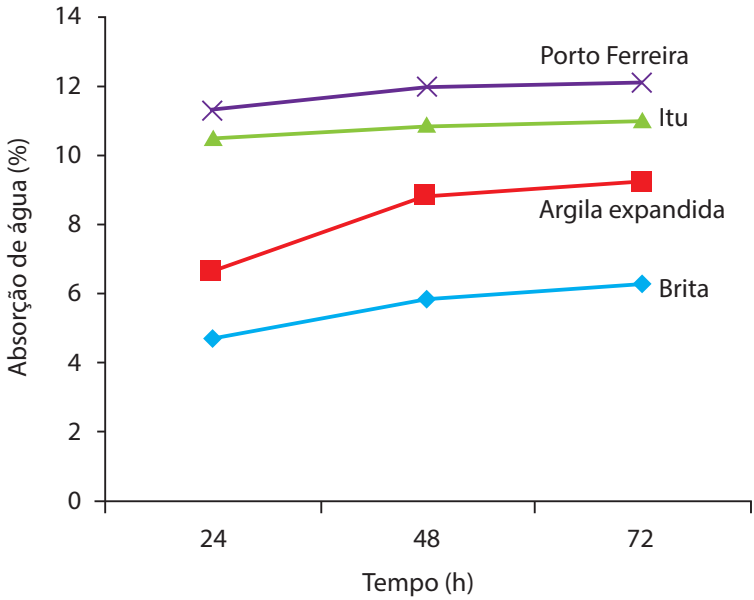


Figura 5. Evolução da absorção de água dos corpos de prova de concreto.

A Tabela 6 apresenta os valores de profundidade de carbonatação dos corpos de prova de concreto.

Analisando-se a Tabela 5, percebe-se que a profundidade de carbonatação dos corpos de prova de concreto aumenta gradativamente com o aumento da idade de exposição dessas mesmas amostras, devido à difusão do CO_2 do ambiente para o interior do concreto.

Tabela 6. Profundidade de carbonatação dos corpos de prova de concreto.

Idade (dias)	Profundidade de carbonatação (mm)			
	Brita nº 1	Argila expandida	Argila calcinada de Itu	Argila calcinada de Porto Ferreira
0	0	0	0	0
3	5,14	6,26	5,10	6,57
5	7,97	9,16	9,39	9,41
7	9,00	12,31	11,07	13,54
12	10,50	15,37	14,32	17,17
17	12,72	17,46	18,50	20,79
21	13,71	19,06	20,39	22,74
26	13,75	20,60	21,26	23,91
31	14,27	21,64	21,76	25,75

Percebe-se também que concretos confeccionados com agregados leves de argila calcinada de Porto Ferreira (agregados mais porosos - 37,59%) e absorventes (24,18% - entre os utilizados) apresentaram as maiores profundidades de carbonatação dentre todos os concretos analisados, em todas as idades, devido à maior porosidade existente, o que facilita a difusão do CO_2 para o interior do concreto.

Esse comportamento também pode ser explicado pela absorção de água desse tipo de concreto, que por ser muito poroso e ter os poros interconectados, contribui para a difusão do CO_2 para o interior do concreto, em um meio úmido e propício para a carbonatação.

Fica evidente também que a profundidade de carbonatação dos concretos confeccionados com argila expandida e agregados leves de argila calcinada de Itu é muito semelhante, uma vez que esses concretos apresentaram valores de resistência à compressão aos 91 dias (28,08 MPa e 29,70 MPa, respectivamente) e absorção de água (9,23% e 11,02%, respectivamente) muito semelhantes.

Já os concretos produzidos com brita, agregado menos poroso e mais resistente, proporcionando menos poros e maior resistência e densificação a esse tipo de concreto, apresentaram as menores profundidades de carbonatação dentre os concretos analisados, uma vez que com um número menor de poros e com menos poros interconectados, dificulta-se a difusão do

CO_2, diminuindo-se assim a profundidade de carbonatação, como ilustra a Figura 6.

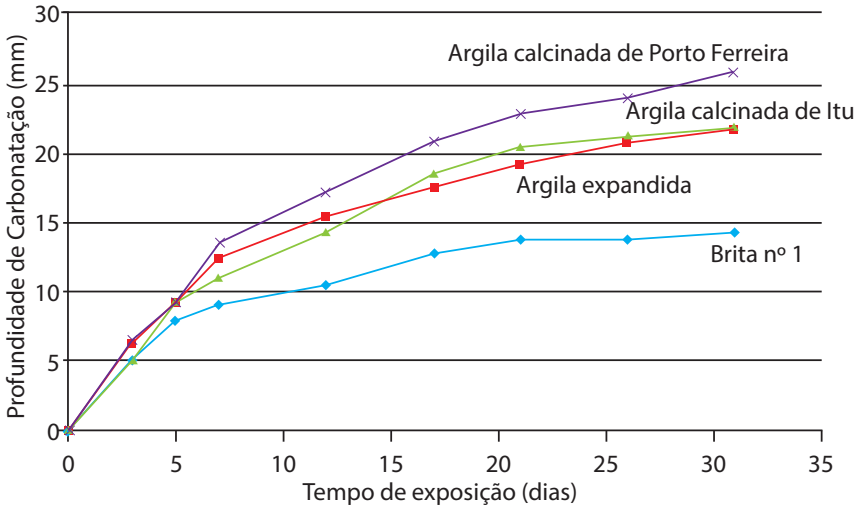


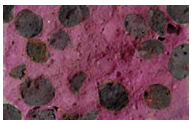
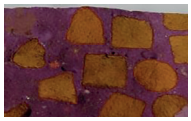
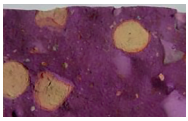
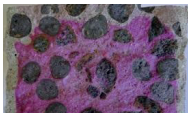
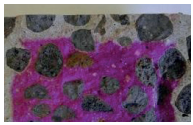
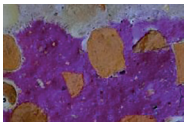
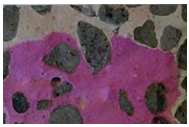
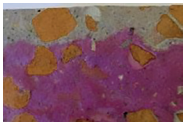
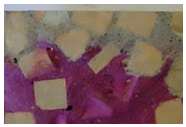
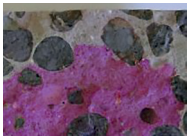
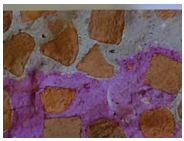
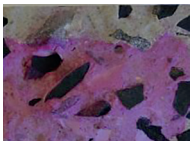
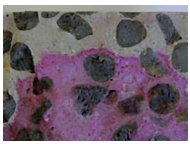
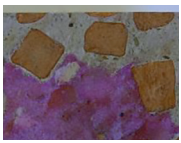
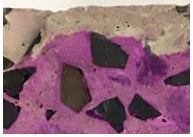
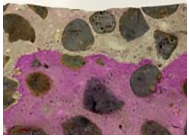
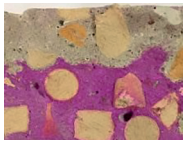
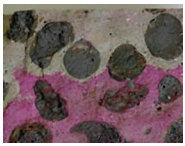
Figura 6. Evolução da profundidade de carbonatação nos corpos de prova de concreto.

Ressalta-se aqui que os agregados utilizados para a pesquisa foram utilizados, na ocasião da moldagem dos concretos, saturados de água, para que os agregados leves de argila calcinada (muito absorventes) não absorvessem a água necessária para a hidratação do cimento.

Dessa forma, como os agregados leves de argila calcinada absorvem grande quantidade de água, a zona de transição pasta-agregado nos concretos produzidos com esses tipos de agregado tornou-se, possivelmente, mais úmida que a dos concretos produzidos com agregados de argila expandida e basalto, o que pode ter contribuído para o aumento da profundidade de carbonatação nesses concretos, principalmente nos produzidos com agregados leves de argila calcinada de Porto Ferreira, que é o agregado mais absorvente dentre os utilizados.

A Tabela 7 apresenta a evolução da profundidade de carbonatação nos concretos analisados em função do tempo de exposição, por meio de imagens registradas dos concretos sob o efeito da fenolftaleína, em que fica evidente o aumento da profundidade de cabonatação com o aumento da idade dos concretos.

Tabela 6. Profundidade de carbonatação dos corpos de prova de concreto após exposição na câmara de carbonatação acelerada.

Idade (dias)	Tipo de Concreto			
	Brita nº 1	Argila expandida	Argila calcinada de Itu	Argila calcinada de Porto Ferreira
0				
3				
5				
7				
12				
17				
21				
26				
31				

Analisando-se as imagens da Tabela 7, percebe-se que, em idades mais avançadas, quando a frente de carbonatação atinge regiões em que os agregados estão presentes, há um avanço significativo da profundidade de carbonatação no entorno dos agregados leves de argila vermelha calcinada, uma vez que esse tipo de agregado é muito poroso, e sua zona de transição é mais frágil e apresenta, provavelmente, pequenas microfissuras que contribuem para a difusão do CO_2.

6. Conclusões

Analisando-se os resultados apresentados nesta pesquisa, podemos concluir que a frente de carbonatação até o quinto dia de exposição dos corpos de prova é muito semelhante. Porém, a partir dessa idade, os concretos produzidos com brita apresentam menores profundidades de carbonatação dentre os concretos analisados, uma vez que esse tipo de agregado é o menos poroso em relação aos outros agregados utilizados na investigação.

Percebe-se também que os concretos produzidos com agregados leves de argila calcinada de Itu apresentaram profundidades de carbonatação muito semelhantes aos produzidos com argila expandida, uma vez que, mesmo a argila expandida sendo mais porosa que os agregados de Itu, ela apresenta uma camada externa vitrificada, o que contribui para uma menor umidade na zona de transição, retardando o avanço da frente de carbonatação.

Já os concretos produzidos com agregados leves de argila calcinada de Porto Ferreira apresentaram os maiores valores de carbonatação para todas as idades ensaiadas, o que pode estar relacionado à grande porosidade e absorção de água desse tipo de agregado, tornando a zona de transição pasta-agregado mais frágil e úmida, favorecendo assim o processo de carbonatação.

Dessa forma, pode-se concluir que, além do tipo e quantidade de cimento, da relação água-cimento e do tipo de cura dos concretos, os agregados utilizados no momento da produção dos concretos apresentam grande influência na profundidade de carbonatação, tendo em vista que agregados mais porosos e com conectividade entre os poros contribuem mais para o efeito da carbonatação dos concretos do que agregados mais densos ou sem conectividade entre os poros.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005, versão corrigida: 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5739:** Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos de Concreto. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6118:** Projetos de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

CAFANGE, D.M.P.J. **Estudo de propriedades auxiliares no controle tecnológico dos concretos de comento Portland com vistas à resistência à carbonatação.** 375 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia e Construção Civil Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto:** inspeção e técnicas eletroquímicas. Ed. PINI. São Paulo, 1997.

GOMES, N.A. **Estruturas de concreto armado em ambiente urbano: avaliação da carbonatação à luz das recomendações da NBR 6118:2003.** 99 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Civil, São Carlos, 2006.

HELENE, P.R.L. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado**. 231 f. 1993, São Paulo. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HOPPE FILHO, J. **Sistemas cimento, cinza volante e cal hidratada: mecanismo de hidratação microestrutura e carbonatação de concreto.** Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

KULAKOWSKI, M.P. **Contribuição ao Estudo da Carbonatação em Concretos e Argamassas Compostos com Adição de Sílica Ativa**. 199 f. 2002. Porto Alegre. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

MEHTA, K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto:** Estrutura, Propriedades e Materiais. Ed. PINI. São Paulo, 1994.

MEHTA, K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo. IBRACON, 2008.

PAULETTI, C. **Estimativa da Carbonatação Natural de Materiais Cimentícios a partir de Ensaios Acelerados e de Modelos de Predição**. 238 f. 2009. Toulouse. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Institut National dês Sciences Appliquées de Toulouse, Toulouse, 2009.

PELLIZZER, G.P. **Análise mecânica e probabilística da corrosão de armaduras de estruturas de concreto armado submetidas à penetração de cloretos.** 247 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

REIS, F.J.L. **Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados provenientes de cerâmicas vermelhas com diferentes taxas de pré-saturação.** 141 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2013.

RILEM TC 116 PCD. Permeability of Concrete as a Criterion of Its Durability: concrete durability: an approach towards performance testing. **Materials and Structures**, v. 32, n. 217, p. 163-173, abr. 1999.

SANTIS, B.C. **Agregado Leve de Argila Calcinada Para Uso em Concreto Estrutural**: **viabilidade da cerâmica vermelha do estado de São Paulo.** 132 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SANTIS, B.C. **Concretos leves com agregados inovadores de argila vermelha calcinada e subprodutos agroindustriais.** 110 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós – Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – FZEA/USP, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016.

SILVA, V.M. **Ação da carbonatação em vigas de concreto armado em serviço, construídas em escala natural e reduzida.** 281f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

WERLE, A.P. **Determinação de Propriedades de Concretos Com Agregados Reciclados de Concreto, Com Ênfase na Carbonatação**. 159 f. 2010 São Leopoldo. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2010.

WERLE, A.P.; KAZMIERCZAK, C.S.; KULAKOWSKI, M.P, 2011. **Carbonatação em concretos com agregados reciclados de concreto**. Ambiente Construído, v. 11, n. 2, p. 213-228, 2011.

http://dx.doi.org/10.26626/978-85-5953-029-2.2017C0014.p.371-398

14 Proposição de Requisitos, Critérios e Métodos de Avaliação de Desempenho de Espaçadores Utilizados em Estrutura de Concreto Armado

Denise Carpena Coitinho Dal Molin
João Ricardo Masuero
Maria Fernanda Fávero Menna Barreto
Ana Paula Maran

1. Introdução

O tema avaliação de desempenho de materiais, componentes e sistemas não é assunto inédito no Brasil, visto que, desde início da década de 80, esse tópico vem sendo tratado de forma sistemática por alguns grupos no país (MITIDIERI FILHO et al., 2002). Entretanto, por vezes, tal abordagem se limitou a pesquisas isoladas, executadas por equipes altamente especializadas.

Apesar de haver um certo atraso, comparado ao cenário internacional, constata-se que hoje o conceito de desempenho está disseminado no Brasil (MITIDIERI FILHO et al., 2002), difundido graças aos diversos trabalhos realizados no âmbito acadêmico, que culminaram na primeira norma brasileira de desempenho aplicada a edifícios habitacionais de até 5 pavimentos, a NBR 15575 (ABNT, 2013).

Em 2013, essa mesma norma, que estava suspensa, teve sua abrangência ampliada ao englobar todas as edificações habitacionais, reacendendo

assim as discussões acerca da abordagem de desempenho, agora com força de norma que deve ser atendida.

O conceito de desempenho, segundo Spekkink (2005), é aplicável a diferentes níveis de decomposição e agregação de uma construção: à construção em sua forma integral, bem como a seus elementos, componentes e materiais. Para garantir um desempenho adequado às construções, é imprescindível que se assegure, principalmente, um desempenho apropriado de seus materiais constituintes. Um desempenho insatisfatório dos materiais componentes é o suficiente para comprometer todo um sistema.

O fracasso na obtenção do cobrimento é, provavelmente, o maior fator influente na corrosão prematura de armaduras (MARSH, 2003), que, por sua vez, é a principal forma de deterioração de estruturas de concreto armado (CLARK et al., 2007). Contudo, a obtenção do cobrimento geralmente não é percebida pelos engenheiros como um problema, logo não lhe é dada prioridade (CLARK et al., 2007). Pesquisas indicam que o cobrimento mínimo projetado não tem sido alcançado em sua totalidade nas obras atuais (CLARK et al., 2007; MENNA BARRETO, 2014; MARAN, 2015).

Um dos maiores problemas relacionado à execução de estruturas de concreto armado é a incapacidade de posicionar a barra de aço com o correto cobrimento de concreto, afetando diretamente o comportamento mecânico e a durabilidade da estrutura (SHAW, 2007), fato que exige ações corretivas envolvendo reparos caros (MERRETZ, 2010).

A correta execução do cobrimento, com concreto de qualidade, adequadamente curado e compactado, reduz significativamente a quantidade de recursos anualmente gastos, em nível mundial, na manutenção e recuperação de estruturas em concreto armado (MARSH, 2003).

Muitos dos problemas que acarretam um cobrimento insuficiente estão relacionados a falhas no projeto, ao detalhamento ou ao fornecimento de materiais e provavelmente apenas podem ser resolvidos quando abordados em sua origem (MARSH, 2003).

Desta forma, essa questão está diretamente relacionada aos espaçadores, pois eles são responsáveis pelo correto posicionamento do aço, proporcionando assim uma adequada proteção a esse elemento (VAQUERO, 2007).

Espaçadores são essenciais na execução de estruturas de concreto armado e protendido. Por esse motivo, a NBR 14931 (ABNT, 2004)

recomenda seu uso. Tais dispositivos são amplamente utilizados em grandes quantidades nas construções que adotam essa solução estrutural, que compreende a maioria no país.

Entretanto, a produção e utilização inadequada dos espaçadores têm sido uma das principais causas do mau posicionamento das armaduras [BS 7973-1 (BSI, 2001)]. A inexistência de uma norma brasileira que regulamente a produção e o uso dos espaçadores e, consequentemente, a falta de certificação de qualidade pelo órgão responsável pela fiscalização de produtos contribuem para o agravamento dessa situação.

Este capítulo busca contribuir com o avanço na abordagem de desempenho no Brasil e também com o tema durabilidade das estruturas de concreto armado, com foco na correta obtenção da espessura de cobrimento, por meio da proposição de métodos de avaliação de desempenho de espaçadores, bem como de requisitos e critérios para esses dispositivos. Alguns modelos e marcas disponíveis no mercado brasileiro foram avaliados utilizando os requisitos, critérios e métodos aqui propostos.

2. Metodologia

Para avaliação do desempenho de espaçadores plásticos, foram propostos requisitos, critérios e métodos de avaliação. Tais itens estão organizados segundo os requisitos dos espaçadores, apontados pelas pela Norma Britânica BS 7973-1 (BSI, 2001): dimensões, identificação, fixação, estabilidade, capacidade de carga e aplicação.

2.1. Requisitos e Critérios de Desempenho

2.1.1. Dimensionais

Os requisitos e critérios dimensionais foram estabelecidos com base na Norma Europeia (CEB, 1990) e Norma Britânica BS 7973-1 (BSI, 2001):

a) proporcionar um único valor de cobrimento (CEB, 1990) ou no máximo dois cobrimentos em um mesmo espaçador, desde que eles estejam claramente identificados no produto [BS 7973-1 (BSI, 2001)]. Assim, evitam-se erros em sua aplicação, visto que a inversão na colocação do espaçador poderia gerar diferença de cobrimento não facilmente perceptível, conforme exemplificado na Figura 1;

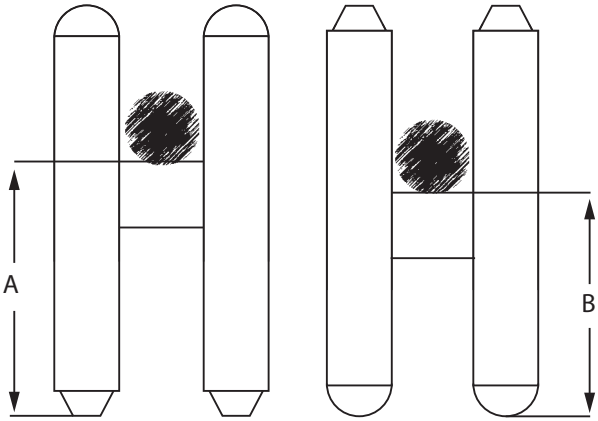


Figura 1. Exemplo de um espaçador com duas possíveis posições de aplicação (VAQUERO, 2007).

b) garantir o cobrimento nominal. Para isso, deve-se saber com precisão a medida do cobrimento especificado pelo fabricante no momento de sua utilização, com uma tolerância de ± 1 mm para cobrimentos de até 75 mm e ± 2 mm para cobrimentos maiores [CEB, 1990 e BS 7973-1 (BSI, 2001)]. O espaçador deve possuir essa dimensão, que compreende a base de apoio até o posicionamento final do aço no produto.

2.1.2. Identificação

O espaçador deve ser de fácil identificação, mesmo quando misturado com outros de dimensões diferentes. Ou seja, a dimensão do cobrimento nominal deve estar indicada no próprio produto [BS 7973-1 (BSI, 2001)], conforme mostrado na Figura 2a.

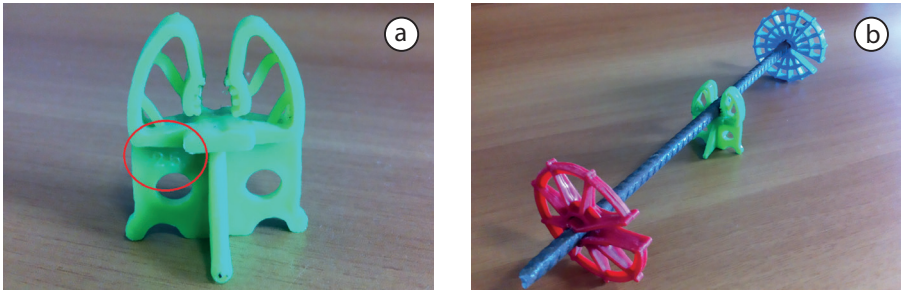


Figura 2. Identificação: a) dimensão do cobrimento no produto; b) cores distintas entre espaçadores.

Embora nenhuma norma exija outra distinção além da identificação do cobrimento expressa no espaçador, quando se tratar de um mesmo modelo, porém indicado para cobrimentos diferentes, esses produtos devem possuir cores distintas, como indicado na Figura 2b. Dessa forma, evita-se que, durante uma concretagem com diversas espessuras de cobrimento, o espaçador especificado se confunda com outros semelhantes, situação ilustrada na Figura 3. O mesmo vale para espaçadores que proporcionam dois cobrimentos diferentes em um único produto. Nesse caso, tal dispositivo deverá possuir cores distintas para cada cobrimento proporcionado, de modo a ser possível a identificação do cobrimento utilizado inclusive à distância.

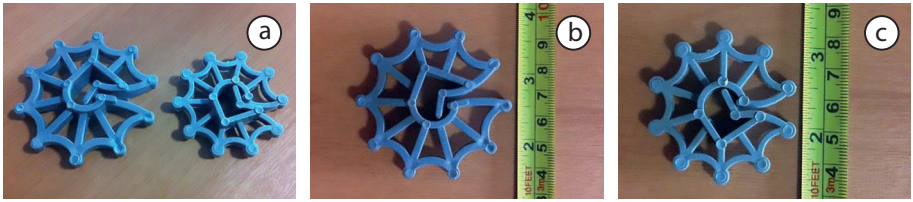


Figura 3. a) Espaçador do mesmo fabricante, do mesmo tipo, e do mesmo modelo, porém com cobrimentos diferentes: b) espaçador para cobrimento de 25 mm; c) espaçador para cobrimento de 20 mm.

Além disso, o fabricante deve estar identificado no produto, seja pelo nome, seja pela logomarca ou pela CNPJ, para fins de rastreabilidade.

2.1.3. Fixação e Aplicação

A presença de um item de fixação integrado ao produto é essencial para permitir o acoplamento do espaçador às armaduras, evitando que ele se solte do conjunto, perdendo sua função, conforme mostrado na Figura 4. Tal item não pode ficar a cargo dos responsáveis pela montagem da armação, devido ao risco de não ser executado.

O item de fixação, quando presente no espaçador, deve ser capaz de prender-se na armadura e resistir ao deslocamento vertical imposto por uma barra de aço com uma carga de 5N ± 0,1N [CEB, 1990 e BS 7973-1 (BSI, 2001)], conforme Figura 5, no sentido longitudinal da barra, de modo a não permitir que o conjunto se movimente/deslize no espaçador ou vice-versa.

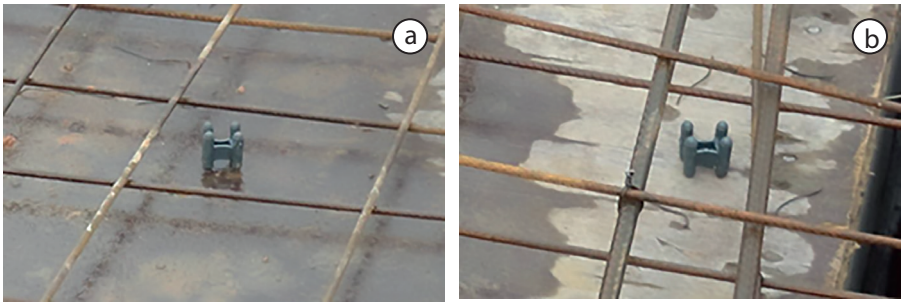


Figura 4. Espaçadores que se soltaram da armadura, não desempenhando mais a sua função.

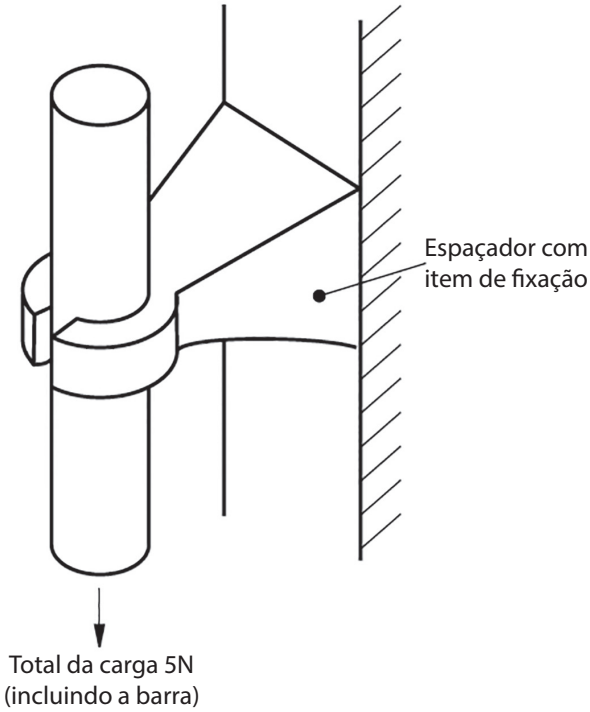


Figura 5. Representação esquemática do ensaio de fixação do espaçador [CEB, 1990 e BS 7973-1 (BSI, 2001)].

Ademais, o item de fixação do espaçador deve proporcionar fácil aplicação às barras de aço. Deste modo, não há necessidade de mão de obra qualificada para seu encaixe. Para tanto, não devem requerer mais de 150N

(força aplicável por qualquer adulto) para sua colocação no maior diâmetro de barra informado pelo fabricante [CEB, 1990 e BS 7973-1 (BSI, 2001)].

2.1.4. Estabilidade

O espaçador deve possuir uma estabilidade mínima, de modo que, quando solicitado durante uma concretagem, continue desempenhando seu papel, evitando-se assim problemas, como o tombamento, exemplificado na Figura 6.

Figura 6. Espaçador tombado durante um concretagem.

A estabilidade é garantida pela existência de um item de fixação e por dimensões mínimas. De acordo com o Comitê Euro-Internacional do Concreto (CEB, 1990) e a Norma Britânica BS 7973-1 (BSI, 2001), nos espaçadores com fixador integrado, excetuando-se os circulares, a estabilidade é assegurada por um raio de rotação mínimo de 5 mm do cobrimento proporcionado, medido na superfície de apoio, para o tombamento do espaçador. Espaçadores circulares não requerem um raio mínimo de rotação perpendicular à barra, a estabilidade é fornecida pela largura do apoio central paralelo à barra, que deve ser maior do que a metade do cobrimento fornecido, conforme Figura 7.

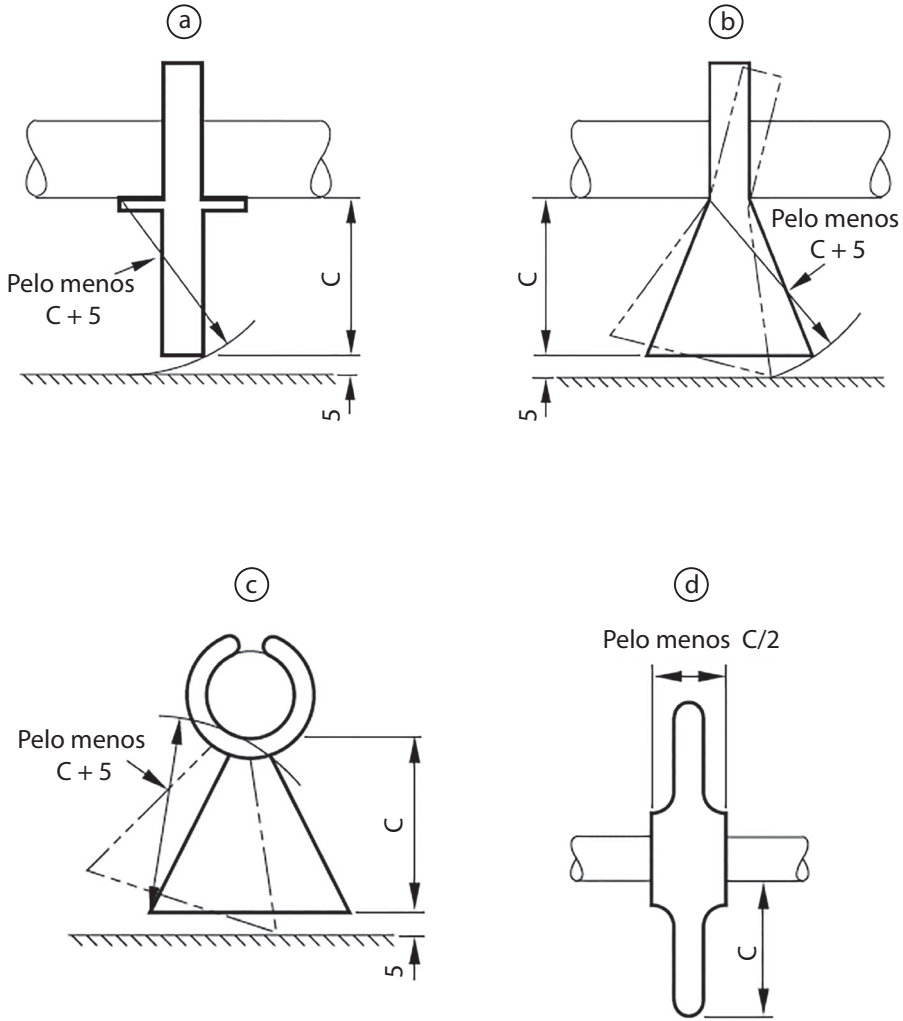


Figura 7. Requisitos geométricos de estabilidade de espaçadores com fixadores integrados [CEB, 1990 e BS 7973-1 (BSI, 2001): a) raio de rotação paralelo à barra de aço; b) raio de rotação paralelo à barra de aço; c) raio de rotação perpendicular à barra de aço; d) largura do apoio central de espaçadores circulares.

2.1.5. Capacidade de Carga

O espaçador deve permanecer íntegro durante o processo de concretagem, resistindo ao carregamento imposto - como o peso da armadura, as

operações de montagem e concretagem, o peso de operários e máquinas, entre outros - sob uma carga mínima estimada de 3,0 kN – máxima força sugerida pelo Comitê Euro-Internacional do Concreto (CEB, 1990) e pela Norma Britânica BS 7973-1 (BSI, 2001) – para espaçadores com grandes solicitações, como os utilizados em lajes e fundo de vigas (cadeirinhas e multiapoio), e uma carga mínima de 0,25kN (força leve sugerida pelo Comitê Euro-Internacional do Concreto (CEB, 1990) e pela Norma Britânica BS 7973-1 (BSI, 2001) para espaçadores utilizados nas laterais dos elementos, como os circulares. Tais forças devem ser resistidas sob uma deformação linear máxima permanente no sentido do cobrimento de 1 mm [CEB, 1990 e BS 7973-1 (BSI, 2001)], evitando situações como a retradada pela Figura 8.

Figura 8. Deformação do espaçador diante da carga em serviço.

2.2. Métodos de Avaliação de Desempenho

Após estabelecidos os requisitos e critérios de desempenho, são propostos métodos para sua verificação e avaliação.

2.2.1. Dos Requisitos Dimensionais

Apesar das normas estrangeiras não se manifestarem a respeito do modo de avaliação dos requisitos e critérios dimensionais, foram desenvolvidos os métodos a seguir:

a) o método de avaliação do desempenho do requisito "Proporcionar um único valor de cobrimento ou no máximo dois claramente identificados" consiste em uma inspeção visual e na análise de projeto do produto. O desempenho é considerado satisfatório quando o espaçador proporcionar apenas um cobrimento ou, no caso de dois cobrimentos em um mesmo espaçador, os valores devem estar claramente identificados no produto;

b) o método de avaliação do desempenho do requisito "Garantir o cobrimento nominal" consiste em uma inspeção dimensional por meio da aplicação de uma barra de aço ao espaçador, que em seguida é medida, com o auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,02 mm, a distância (C) entre a base de apoio e o fundo da barra de aço, conforme a Figura 9, imediatamente antes e depois do espaçador. O desempenho é considerado satisfatório quando o cobrimento proporcionado pelo produto for igual ao especificado pelo fabricante com uma tolerância de ± 1 mm para cobrimentos de até 75 mm e ± 2 mm para recobrimentos maiores.

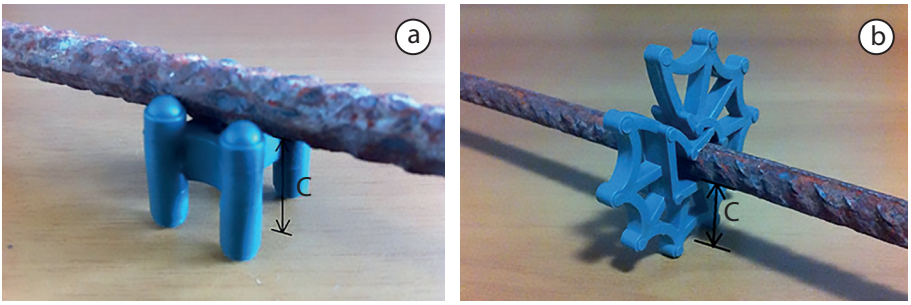


Figura 9. Método de avaliação do desempenho físico: a) em espaçadores tipo cadeirinha; b) em espaçadores circulares.

2.2.2. Do Requisito Identificação

O método de avaliação do desempenho desse requisito consiste em uma inspeção técnica do produto. Caso ele possua a informação de cobrimento nominal, cor diferenciada para espaçadores de mesmo modelo, cores distintas para cada cobrimento diferente proporcionado em um mesmo espaçador e identificação do fabricante, ele é considerado satisfatório, caso contrário é considerado insatisfatório.

2.2.3. Do Requisito Fixação e Aplicação

O método de avaliação do desempenho do requisito de fixação consiste em uma inspeção técnica e análise do projeto do produto, de forma que o espaçador deve apresentar um item de fixação integrado a ele. Se o produto não possuir algum tipo de fixação integrado, automaticamente é considerado insatisfatório.

Entretanto, se o produto apresentar o item de fixação, este deve ser capaz de fixar-se na armadura e resistir ao deslocamento vertical imposto por uma barra de aço com uma carga de 5N ± 0,1N [CEB, 1990 e BS 7973-1 (BSI, 2001)], conforme Figura 5. O método de avaliação tem como base o ensaio proposto pelo CEB (1990) e a Norma Britânica BS 7973-1 (BSI, 2001), e a armadura utilizada para o ensaio possui o menor diâmetro especificado pelo fabricante como adequado em relação aos espaçadores. Caso não seja informado o menor diâmetro aplicável, o ensaio será executado com uma barra de 5 mm de diâmetro. Será considerado satisfatório o espaçador que impedir o deslizamento da barra aplicada. Em caso de deslizamento, o espaçador será considerado insatisfatório. Esse parâmetro não contempla tolerâncias.

Figura 10. Ensaio de aplicação do espaçador à barra de aço: a) em espaçadores circulares; b) em espaçadores cadeirinha.

Além de ter um item de fixação, que deve impedir o deslocamento da armadura, o espaçador também tem que ser facilmente aplicável às barras de aço. O método de avaliação do desempenho desse requisito consiste em ensaio laboratorial, no qual se apoia o espaçador sobre o maior diâmetro de barra recomendado pelo fabricante. Em seguida, o conjunto é inserido em uma prensa, conforme Figura 10, e a carga é aplicada até o encaixe total do espaçador à barra de aço. O produto é considerado satisfatório quando não exigir mais de 0,15kN de força para sua completa aplicação.

Apesar do CEB (1990) e a Norma Britânica BS 7973-1 (BSI, 2001) não indicarem um procedimento específico para análise desse requisito, o ensaio proposto foi concebido a fim de se ter um método de avaliação para esse item. Desta forma, desenvolveu-se o dispositivo especificado na Figura 11, no qual é possível a troca de diferentes barras de aço para execução do ensaio.

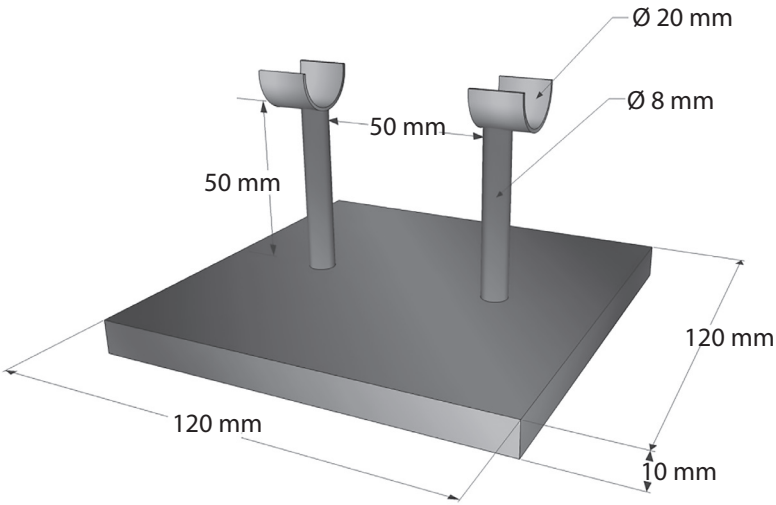


Figura 11. Dispositivos desenvolvidos para avaliação de desempenho do requisito fixação.

2.2.4. Do Requisito Estabilidade

O método de avaliação desse requisito de desempenho consiste na medição das dimensões do espaçador, utilizando-se um paquímetro digital com precisão de 0,02 mm, exemplificado na Figura 12, levando em conta as

especificações do Comitê Euro-Internacional do Concreto (CEB, 1990) e da Norma Britânica BS 7973-1 (BSI, 2001).

Figura 12. Medição das dimensões dos espaçadores tipo cadeirinha: a) medida paralela ao posicionamento da barra; b) medida perpendicular ao posicionamento da barra; c) medida do centro de apoio do espaçador circular.

Em espaçadores com item de fixação integrado, excetuando-se os circulares, a estabilidade é garantida quando assegurado um raio de rotação mínimo de 5 mm maior do que o cobrimento fornecido pelo produto, para tombamento sobre a superfície de apoio. Esse raio de rotação deve existir nas dimensões do espaçador paralelas e perpendiculares à armadura ao qual é aplicado, conforme Figura 7 (a, b, c).

Espaçadores circulares não necessitam de raio mínimo de rotação, pois sua estabilidade é fornecida pela largura do apoio central, que deve ser maior do que metade do cobrimento fornecido, conforme exemplificado na Figura 7d.

O desempenho é considerado satisfatório quando as medidas atenderem aos valores especificados. Espaçadores que não possuírem item de fixação ou não atenderem aos parâmetros e critérios de desempenho descritos serão considerados insatisfatórios.

2.2.5. Do Requisito Capacidade de Carga

A avaliação do requisito capacidade de carga é uma adaptação do método proposto pelo CEB (1990) e Norma Britânica BS 7973-1 (BSI, 2001), que consiste em um ensaio laboratorial.

Para possibilitar a realização do ensaio, foi desenvolvido um dispositivo, apresentado na Figura 11, no qual se aplica um espaçador na barra de aço de 8 mm do dispositivo, como mostra a Figura 13. Em seguida, insere-se o conjunto (dispositivo + espaçador) em uma prensa e aplica-se força até a capacidade de carga requerida do espaçador, conforme Tabela 1.

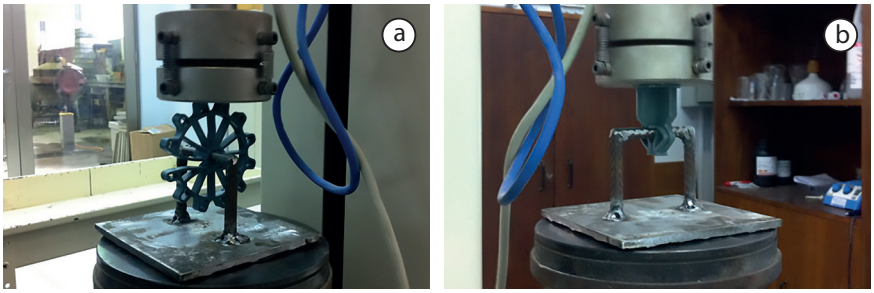


Figura 13. Ensaio de capacidade de carga: a) em espaçadores circulares; b) em espaçadores cadeirinha.

Tabela 1. Parâmetros para o valor da carga máxima aplicada no ensaio do método de avaliação do requisito capacidade de carga.

Espaçador	Solicitação	Capacidade de carga
Cadeirinha e Multiapoio	Pesada	3,0 kN
Circular	Leve	0,25 kN

Fonte: CEB, 1990 e BS 7973-1 (BSI, 2001).

Ao atingir a capacidade de carga ou o rompimento do espaçador, retira-se o conjunto da prensa e verifica-se a deformação linear permanente no sentido do cobrimento, o qual não pode ser superior a 1 mm.

Caso um espaçador possibilitar dois cobrimentos diferentes, ele deverá ser testado na posição mais desfavorável, ou seja, avaliado no maior cobrimento proporcionado. Atendendo aos critérios de desempenho estabelecidos, os espaçadores serão considerados satisfatórios, caso contrário, serão considerados insatisfatórios.

Embora o CEB (1990) e a Norma Britânica BS 7973-1 (BSI, 2001) possuam um método diferente para essa avaliação (Figura 14), o ensaio proposto acima foi concebido com a finalidade de se obter gráficos gerados com base no comportamento do material prensado, no que diz respeito à força e à deformação desse elemento.

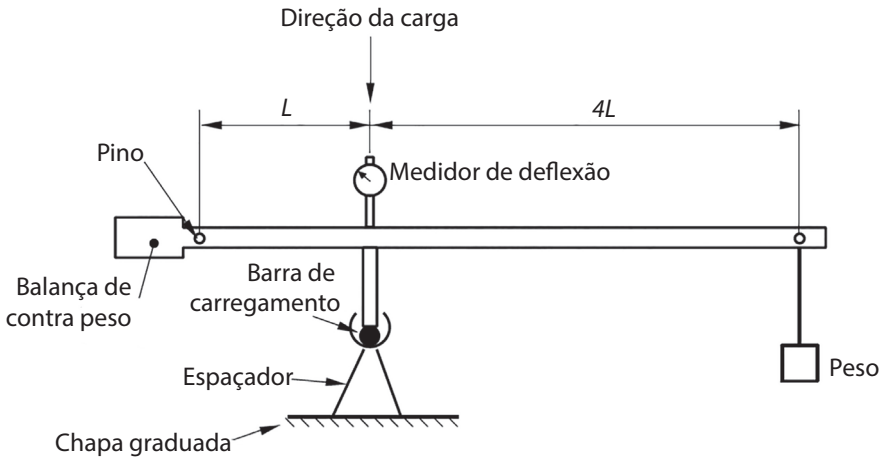


Figura 14. Aparato para teste de capacidade de carga [CEB, 1990 e BS 7973-1 (BSI, 2001)].

2.3. Resumo dos Requisitos, Critérios e Avaliação de Desempenho

	Requisito	Critério	Método de avaliação
Dimensionais	a) Proporcionar um único cobrimento ou no máximo dois cobrimentos claramente identificáveis.	As dimensões proporcionadas devem ser claramente identificáveis no produto.	Verificar, por meio de uma inspeção visual e de análise de projeto do produto, a quantidade de diferentes cobrimentos proporcionados.
	b) Garantir o cobrimento nominal indicado.	Possuir a medida do cobrimento especificado pelo fabricante, com tolerância de ± 1 mm para cobrimentos até 75 mm e ± 2 mm para cobrimentos maiores.	Aplicar uma barra de aço ao espaçador e medir, com o auxílio de um paquímetro digital, o cobrimento proporcionado.

Continuação.

	Requisito	Critério	Método de avaliação
Identificação	Possuir fácil identificação, mesmo quando misturado.	A dimensão do cobrimento nominal e a identificação do fabricante devem estar contidos no produto. Espaçadores de mesmo modelo e de cobrimentos diferentes, assim como espaçadores com 2 cobrimentos, devem possuir cores distintas.	Conferir a existência do cobrimento nominal e a identificação do fabricante no próprio produto. Verificar se existe diferenciação de cores entre um mesmo modelo e se o espaçador que proporciona dois cobrimentos em um mesmo produto possui cores diferentes conforme o cobrimento utilizado.
Fixação e aplicação	Possuir capacidade de fixar-se e não se deslocar na armadura.	Possuir item de fixação capaz de resistir ao deslocamento proposto por uma carga de 5N ± 0,1 N, aplicado na direção do eixo longitudinal da armadura à barra de menor diâmetro informado pelo fabricante.	Aplicar ao espaçador uma barra de aço de menor diâmetro informado pelo fornecedor com uma carga total de 5N na direção do eixo da armadura e verificar se há o deslocamento da barra.
	Ser facilmente aplicável às barras de aço.	Não devem requerer mais de 0,15 kN para a aplicação no maior diâmetro de barra informado pelo fabricante.	Apoiar o espaçador no maior diâmetro recomendado pelo fabricante. Em seguida, posicioná-lo sobre o dispositivo específico para o ensaio e inserir o conjunto em uma prensa. Aplicar força constante até o completo encaixe do espaçador à barra.
Estabilidade	Possuir estabilidade e não tombar.	Para cadeirinhas e multiapoio: assegurar um raio de rotação de, pelo menos, o valor de cobrimento mais 5 mm; Para circulares: o centro de apoio deve possui espessura superior a 0,5 do valor de cobrimento indicado.	Para cadeirinhas e multiapoio: com um paquímetro digital, medir o raio mínimo de rotação paralelo e perpendicular à aplicação da barra de aço. Para circulares: com um paquímetro digital, medir a espessura do centro de apoio do espaçador.

Continuação.

	Requisito	Critério	Método de avaliação
Capacidade de Carga	Permanecer íntegro, resistindo ao carregamento imposto e deformação máxima permitida.	Para cadeirinhas e multiapoio: resistir a uma carga mínima de 3 kN; Para circulares: resistir a uma carga mínima de 0,25 kN; Resistir ao carregamento mínimo com uma deformação linear máxima de 1 mm.	Aplicar o espaçador no dispositivo específico para o ensaio e inserir o conjunto em uma prensa. Aplicar força com velocidade de carregamento constante até a capacidade de carga requerida e, em seguida, medir a deformação linear permanente com um paquímetro digital.

2.4. Validação dos Métodos de Avaliação do Desempenho dos Espaçadores

Para validar os métodos de avaliação propostos, foram ensaiados 18 modelos de espaçadores de 5 fabricantes distintos (A, B, C, D e E), conforme Figura 15, Figura 16, Figura 17, Figura 18 e Figura 19, e mais 10 modelos de fornecedores não identificados (X), segundo mostra a Figura 20. Todos esses espaçadores foram obtidos em obras correntes e consistem em: 10 modelos de espaçadores no formato cadeirinha, 13 circulares e 5 multiapoio.

Seguindo critérios do Comitê Euro-Internacional do Concreto (CEB, 1990), ao menos 10 unidades de cada modelo específico foram testadas de acordo com a avaliação proposta e no mínimo 90% das unidades deveriam satisfazer os requisitos propostos.

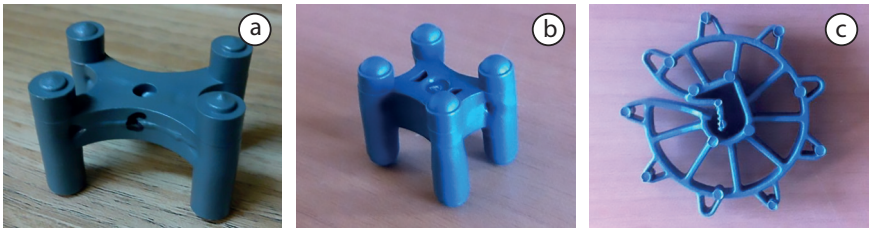


Figura 15. Fabricante A: a) modelo A1; b) modelo A2; c) modelo A3.

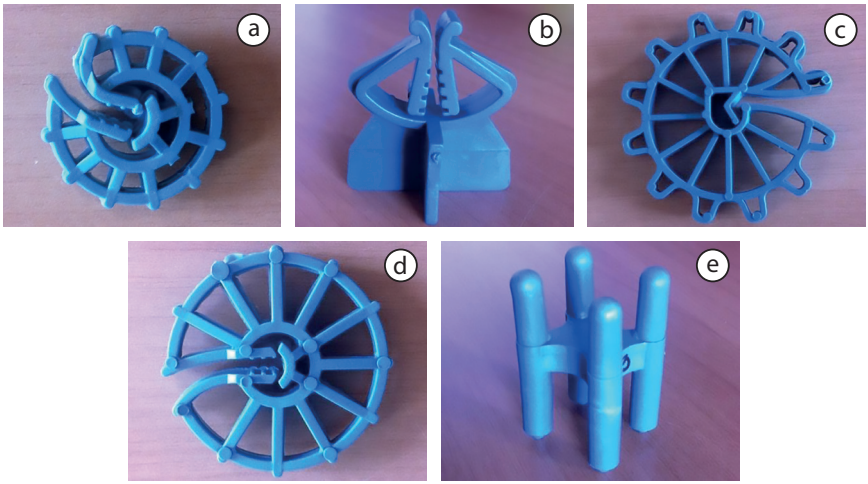


Figura 16. Fabricante B: a) modelo B1; b) modelo B2; c) modelo B3; d) modelo B4; e) modelo B5.

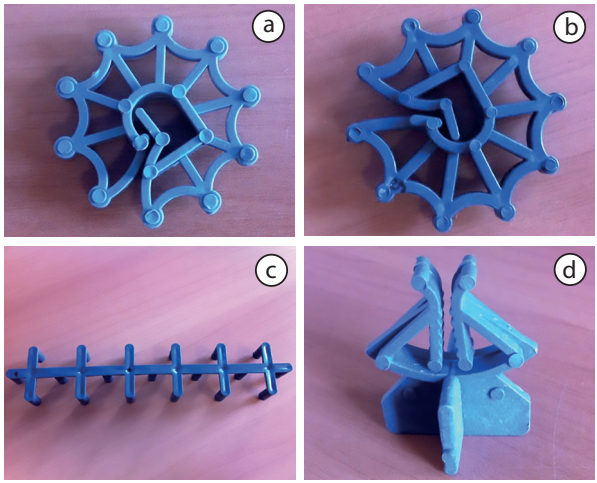


Figura 17. Fabricante C: a) modelo C1; b) modelo C2; c) modelo C3; d) modelo C4.

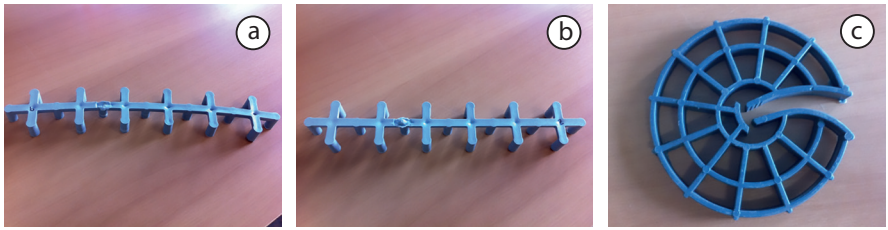


Figura 18. Fabricante D: a) modelo D1; b) modelo D2; c) modelo D3.

Figura 19. Fabricante E: a) modelo E1; b) modelo E2; c) modelo E3.

Sempre que uma amostra (de no mínimo 10 unidades do produto) não conseguir atender aos requisitos especificados anteriormente, todo o lote de espaçadores é rejeitado e considerado insatisfatório.

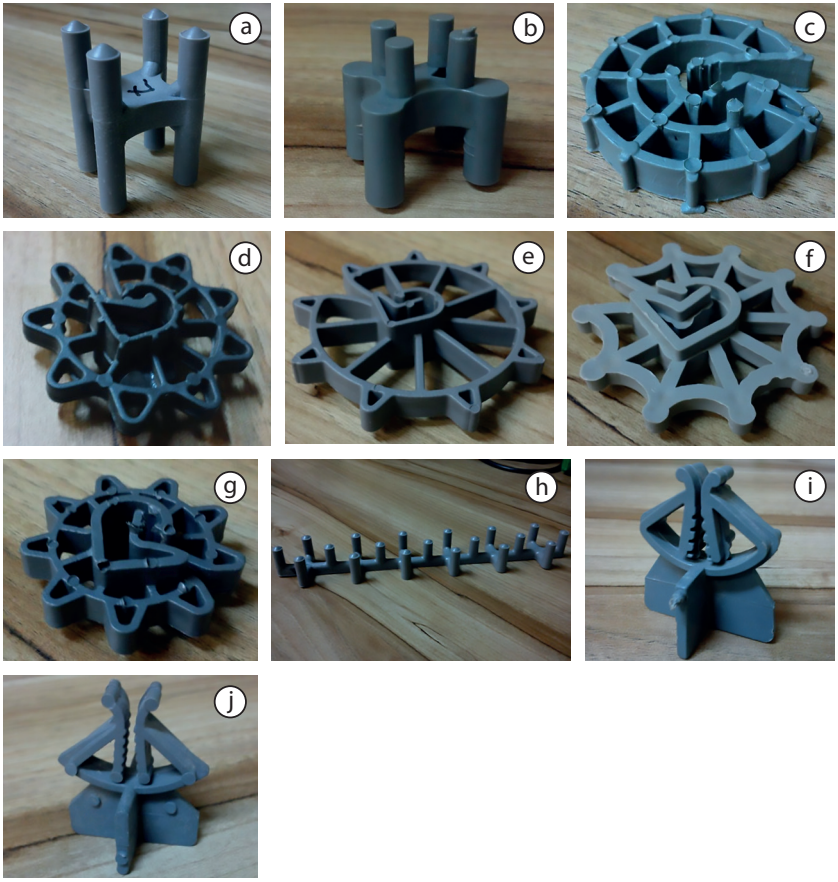


Figura 20. Fabricantes desconhecidos: a) modelo X1; b) modelo X2; c) modelo X3; d) modelo X4; e) modelo X5; f) modelo X6; g) modelo X7; h) modelo X8; i) modelo X9; j) modelo X10.

3. Apresentação e Análise de Resultados

A seguir, são apresentados e discutidos os resultados obtidos, os quais foram separados por requisitos, tipos de espaçadores e fabricantes.

3.1. Por Requisitos

3.1.1. Dimensionais

Os modelos A1, A2, B5, E2 e X1 não satisfizeram o primeiro requisito dimensional (proporcionar um único cobrimento ou no máximo dois cobrimentos claramente identificáveis). Entretanto, todas as cadeirinhas foram aprovadas na avaliação do segundo requisito dimensional (garantir o cobrimento nominal indicado).

Para os espaçadores circulares, todos os modelos foram aprovados no primeiro requisito dimensional (proporcionar um único cobrimento ou no máximo dois cobrimentos claramente identificáveis). Já no segundo requisito (garantir o cobrimento nominal indicado), apenas os modelos A3, B3, B4, D3 e E1 se mostraram satisfatórios.

No que concerne aos espaçadores do formato multiapoio, para o primeiro requisito dimensional (proporcionar um único cobrimento ou no máximo dois cobrimentos claramente identificáveis), todos os modelos mostraram-se satisfatórios. Entretanto, na avaliação do segundo requisito dimensional (garantir o cobrimento nominal indicado), apenas o modelo D1 e D2 foram reprovados e, consequentemente, considerados insatisfatórios.

Desta maneira, dos 28 modelos de espaçadores avaliados, 13 foram aprovados em todos os requisitos dimensionais (A3, B2, B3, B4, C3, C4, D3, E1, E3, X2, X8, X9, X10), de forma que 15 foram considerados insatisfatórios em pelo menos uma avaliação desse requisito.

3.1.2. Identificação

Ao se avaliar o requisito de identificação, nenhum modelo avaliado apresentou o cobrimento nominal e informações do fabricante especificados no produto.

No que diz respeito à diferença de cores em um espaçador que proporciona dois cobrimentos, nenhum dos fabricantes identificados (Fabricante A, B, C, D e E) apresentou essa distinção entre seus modelos. Já para os fabricantes não identificados (fabricantes desconhecidos), não pode afirmar o mesmo, visto que o desconhecimento do produtor impede a rastreabilidade dos produtos de igual modelo.

Apesar de nenhum modelo avaliado satisfazer esse requisito, conforme mostrado na Figura 21, existem espaçadores que atendem a esse critério. Entretanto, eles não foram avaliados devido ao fato de não haver amostras suficientes para avaliação.

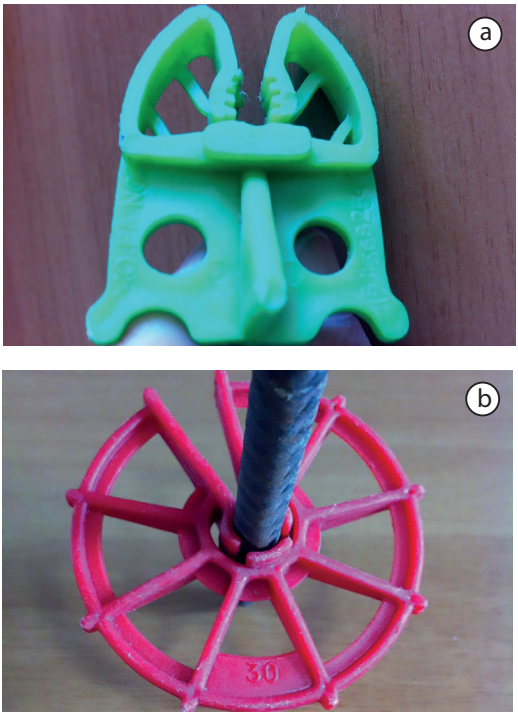


Figura 21. Espaçadores que satisfazem o requisito identificação.

3.1.3. Fixação e Aplicação

Como não existia, em todos os modelos avaliados, a especificação do fabricante em relação ao diâmetro mínimo de armadura para o qual os espaçadores são adequados, adotou-se o menor diâmetro permitido para estribos, ou seja, 5 mm, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014).

Avaliando-se o requisito fixação, quanto ao modelo cadeirinha, embora os modelos B2, C4, X9 e X10 apresentarem item de fixação, ocorreu o deslizamento da barra de aço, fato que os reprovou no segundo método de avaliação proposto.

Quanto aos modelos circulares, os modelos D3 e X3 foram considerados insatisfatórios, pois não impediram o deslocamento da armadura.

Os espaçadores do formato multiapoio foram reprovados. O desempenho insatisfatório ocorreu automaticamente, por não possuírem item de fixação.

No geral, dos 28 modelos avaliados nesse requisito, apenas 17 modelos possuíam item de fixação. Desses, somente 11 (A3, B1, B3, B4, C1, C2, E1, X4, X5, X6 e X7) se mostraram satisfatórios.

Para o requisito aplicação, aqueles que não apresentaram item de fixação, como os modelos A1, A2, B5, C3, D1, D2, E2, E3, X1, X1, X8, não foram ensaiados.

Diferentemente dos modelos de espaçadores de fabricantes identificados, os modelos que possuem fabricantes desconhecidos foram avaliados segundo um método alternativo, pois eles não continham a informação do maior diâmetro recomendado para suas respectivas aplicações. Tal método consistiu em tentativa e erro, no qual o espaçador é aplicado, desde os diâmetros menores até os maiores, progressivamente, até o produto não conseguir ser encaixado com a força máxima requerida.

A avaliação dos modelos cadeirinha mostrou que somente os modelos B2 e C4 são insatisfatórios.

Já com relação aos espaçadores circulares, os modelos A3, B3, C1, C2 foram reprovados e assim considerados insatisfatórios.

3.1.4. Estabilidade

Para o requisito estabilidade, em relação aos resultados das avaliações dos espaçadores de formato cadeirinha, nenhum modelo foi aprovado segundo o método proposto.

Apesar dos espaçadores circulares apresentarem item de fixação, cuja existência é imprescindível para proporcionar estabilidade, somente os modelos A3, B1, C1, E1, X4, X5, X6 e X7 comprovaram desempenho satisfatório na avaliação proposta. Os demais modelos foram reprovados.

Os espaçadores no formato multiapoio não foram avaliados, devido ao fato de não apresentarem item de fixação, tendo seu desempenho reprovado automaticamente.

De modo geral, obtiveram-se 8 modelos satisfatórios e 20 modelos insatisfatórios, conforme método de avaliação proposto.

3.1.5. Capacidade de Carga

Avaliação desse requisito analisa duas variáveis: deformação linear máxima permanente e capacidade de carga resistida.

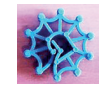
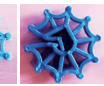
Para os modelos de formato cadeirinha, nota-se que, dos 10 modelos avaliados, apenas 2 (B2 e X9) comprovaram desempenho satisfatório nesse requisito, enquanto o restante foi considerado insatisfatório.

Embora a maioria dos modelos de espaçadores circulares tenha resistido à carga mínima exigida, muitos obtiveram deformação linear permanente superior à máxima permitida. Portanto, somente os modelos C1 e X6 apresentaram deformação linear permanente inferior a 1 mm e foram aprovados, apresentando desempenho satisfatório.

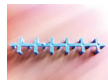
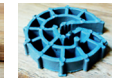
Nenhum modelo de formato multiapoio foi aprovado segundo o método de avaliação proposto. De todos os formatos, esse foi o que mais apresentou variabilidade na carga resistida. Tal ocorrência se justifica pela diversidade de posições permitidas para sua aplicação, uma vez que esse modelo de espaçador pode ser posicionado perpendicular, paralelo, ou diagonal à barra.

No geral, dos 28 modelos de espaçadores avaliados nesse requisito, 4 (B2, X9, C1 e X6) apresentaram desempenho satisfatório e 24 apresentaram desempenho insatisfatório segundo o método de avaliação estabelecido.

3.1.6. Resumo dos resultados

Fabricante:		A				B				C			
		A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4
Modelo:													
Formato:		Cadeirinha	Cadeirinha	Circular	Circular	Cadeirinha	Circular	Circular	Cadeirinha	Circular	Circular	Multiapoio	Cadeirinha
Cobrimento:		15|20	15|20	25	15	20	35	25	25|30	20	25	25	20
Dimensionais	a) Proporciona um único cobrimento ou no máximo dois cobrimentos claramente identificáveis?	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM
	b) Garante o cobrimento nominal indicado?	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM	SIM
Identificação	Possui fácil identificação, mesmo quando misturado?	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Fixação e aplicação	Possui capacidade de fixar-se e não se deslocar na armadura?	NÃO	NÃO	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	NÃO	NÃO
	É facilmente aplicável às barras de aço?	N/A	N/A	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	N/A	NÃO	NÃO	N/A	NÃO
Estabilidade	Possui estabilidade?	NÃO	NÃO	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
Capacidade de carga	Permanece íntegro, resistindo ao carregamento imposto e à deformação máxima permitida?	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO

Continuação.

Fabricante:		D			E			X				
		D1	D2	D3	E1	E2	E3	X1	X2	X3	X4	X5
Modelo:												
Formato:		Multiapoio	Multiapoio	Circular	Circular	Cadeirinha	Multiapoio	Cadeirinha	Cadeirinha	Circular	Circular	Circular
Cobrimento:		15	20	40	20	15|20	25	25|30	20	20	20	30
Dimensionais	a) Proporciona um único cobrimento ou no máximo dois cobrimentos claramente identificáveis?	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM
	b) Garante o cobrimento nominal indicado?	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
Identificação	Possui fácil identificação, mesmo quando misturado?	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Fixação e aplicação	Possui capacidade de fixar-se e não se deslocar na armadura?	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	SIM
	É facilmente aplicável às barras de aço?	N/A	N/A	SIM	SIM	N/A	N/A	N/A	Sim, até aços Ø6,3 mm	Sim, até aços Ø12,5 mm	Sim, até aços Ø6,3 mm	Sim, até aços Ø12,5 mm
Estabilidade	Possui estabilidade?	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	SIM
Capacidade de carga	Permanece íntegro, resistindo ao carregamento imposto e à deformação máxima permitida?	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO

Continuação.

Fabricante:		**X**				
		X6	**X7**	**X8**	**X9**	**X10**
Modelo:						
Formato:		**Circular**	**Circular**	**Multiapoio**	**Cadeirinha**	**Cadeirinha**
Cobrimento:		**20**	**15**	**25**	**20**	**20**
Dimensionais	a) Proporciona um único cobrimento ou no máximo dois cobrimentos claramente identificáveis?	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	b) Garante o cobrimento nominal indicado?	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM
Identificação	Possui fácil identificação, mesmo quando misturado?	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Fixação e aplicação	Possui capacidade de fixar-se e não se deslocar na armadura?	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
	É facilmente aplicável às barras de aço?	Sim, até aços ø10 mm	Sim, até aços ø8,0 mm	N/A	Sim, até aços ø6,3 mm	Sim, até aços ø12,5 mm
Estabilidade	Possui estabilidade?	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
Capacidade de carga	Permanece íntegro, resistindo ao carregamento imposto e à deformação máxima permitida?	SIM	NÃO	NÃO	SIM	NÃO

4. Conclusões

Os espaçadores plásticos se mostraram um fator contribuinte para a não obtenção do correto cobrimento final, uma vez que este depende diretamente do desempenho daqueles, e nenhum modelo de espaçador avaliado provou-se satisfatório para todos os requisitos e critérios estabelecidos.

Entretanto, ficou claro que todo e qualquer requisito e critério estabelecido pode ser satisfeito, visto que pelo menos um modelo de espaçador foi aprovado em cada avaliação, excetuando-se o requisito de identificação. Este, por sua vez, embora não tenha tido nenhum modelo submetido à avaliação aprovado, conta com peças de fabricantes que não participaram desta pesquisa capazes de satisfazer tal requisito conforme foi exemplificado. Assim sendo, cruzando-se as características dos modelos aprovados em cada requisito, é possível obter um espaçador com desempenho adequado a sua função.

Diante da variedade e diversificação de espaçadores ofertados, assim como o diferente comportamento de cada um, fica comprovada a necessidade de uma norma regulamentadora para esse produto, a fim de balizar a qualidade dos disponíveis no mercado, promovendo um aperfeiçoamento do material, bem como eliminação dos produtos insatisfatórios.

Juntamente com a norma regulamentadora, deve-se exigir certificação e fiscalização de tais produtos por parte dos órgãos responsáveis.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais: Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BSI. **BS 7973:** Spacers and chairs for steel reinforcement and their specification – Part 1: Product performance requirements. UK, 2001.

CLARK, L.A.; SHAMMAS-TOMA, M.G.K.; SEYMOUR, D.E.; PALLETT, P.F.; MARSH, B.K. How can we get the cover we need? In: The Structure Engineer. J**ournal of the Institution of Structural Engineers**, v. 75, n. 17. UK, 2007.

COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON – CEB e FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE LA PRÉCONTRAINTE – FIP. **CEB-FIP Model Code 1990. Design Code.** Lausanne: CEB, p. 437, 1993.

MARAN, A.P.; MENNA BARRETO, M.F.F.; ROHDEN, A.B.; DAL MOLIN, D.C.C.; MASUERO, J.R. **Análise da espessura do cobrimento de armadura em lajes com diferentes distanciamentos entre espaçadores e pontos de amarração.** In: Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, 2015.

MARSH, B. **Specification and achievement of cover to reinforcement.** In: Advanced Concrete Technology Set. Volume 1, Pages 1 – 9, 2003.

MENNA BARRETO, M.F.F. **Avaliação de desempenho de espaçadores plásticos: proposição e avanços de métodos de avaliação.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2014.

MERRETZ, W. **Achieving concrete cover in construction.** In: Concrete in Australia. Technical Feature: Concrete cover., v. 36, n. 1. Austrália, 2010.

MITIDIERI FILHO, C.V.; THOMAZ, E.; VITTORINO, F.; ROCHA, A.L. Sistema de avaliação técnica de novos produtos e sistemas para a construção de habitações: uma proposta para o Brasil. **Téchne**. São Paulo, edição 69, 2002.

SHAW, C.B. **Durability of Reinforcement Concrete.** 2007. Disponível em: http://www.localsurveyorsdirect.co.uk/sites/default/files/attachments/reinforced%20concrete.pdf. Acesso em: maio 2014.

SPEKKINK, D. **Performance based design:** Bringing Vitruvius up to date. Performance Based Building Thematic Network. Domain 3 Report. Holanda: novembro, 2005.

VAQUERO, J. **Separadores para hormigón estructural.** Zuncho, n. 13. Septiembre, 2007.

Introdução

Necessidade de Revisão dos Métodos de Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações no Âmbito da Norma NBR 15575 e do SiNAT

Proposta de Procedimentos para Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações (NBR 15575 e SiNAT) – Método Simplificado

Proposta de Procedimentos para Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações (NBR 15575 e SiNAT) – Método Detalhado

Determinação da Isolação Sonora de Fachadas em Andares Altos de Edificações

Proposta de Aprimoramento do Ensaio de Ação de Calor e Choque Térmico na NBR 15575 (ABNT, 2013)

Sistemas Construtivos Inovadores no Contexto do SiNAT: Normativas, Produção e Aplicações de Painéis de Vedação

Avaliação de Habitações em Sistemas Construtivos Inovadores: Apresentação de Metodologia e Resultados da Análise de Documentação

Avaliação de Desempenho em Uso e Manutenção de Habitações em Sistemas Construtivos Inovadores

Percepção dos Usuários e Avaliação de Desempenho em Uso de Habitações em Sistemas Construtivos Inovadores

Avaliação Pós-Ocupação em Sistemas Construtivos Inovadores: Considerações Finais

Bambu como Material de Engenharia

Avaliação da Durabilidade de Concretos Estruturais com Agregados Leves Inovadores Utilizando a Carbonatação Acelerada

Proposição de Requisitos, Critérios e Métodos de Avaliação de Desempenho de Espaçadores Utilizados em Estrutura de Concreto Armado