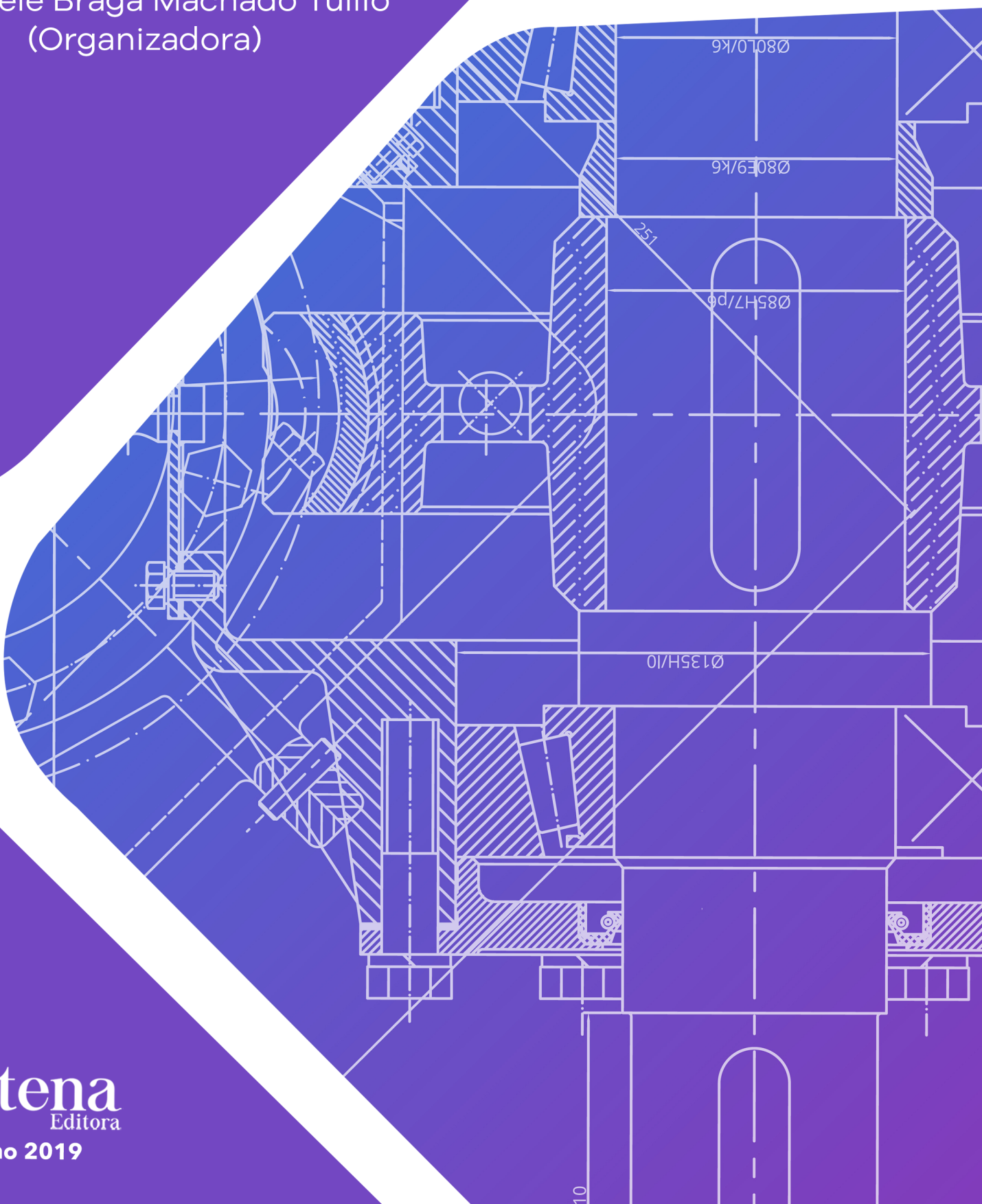


# Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias 2

Franciele Braga Machado Tullio  
(Organizadora)



2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Geraldo Alves

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
 Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
 Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
 Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
 Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
 Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
 Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá  
 Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

P474 Pesquisa científica e inovação tecnológica nas engenharias 2 [recurso eletrônico] / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. – Ponta Grossa PR: Atena Editora, 2019. – (Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias; v. 2)

Formato: PDF  
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
 Modo de acesso: World Wide Web  
 Inclui bibliografia  
 ISBN 978-85-7247-903-5  
 DOI 10.22533/at.ed.035200601

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovações tecnológicas.  
 3. Tecnologia. I. Tullio, Franciele Braga Machado. II. Série.

CDD 658.5

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior | CRB6/2422**

Atena Editora  
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>172</b>
PARADIGMAS TECNOLÓGICOS E REGIMES DE APROPRIABILIDADE: O CASO DA INDÚSTRIA FONOGRÁFICA NA ERA DIGITAL	
Sheila de Souza Corrêa de Melo Edoardo Sigaud Gonzales Natália Bonela de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.03520060116</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>183</b>
UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS AND AIRSPACE INTERFACES	
Omar Daniel Martins Netto Maria Emília Baltazar Jorge Miguel dos Reis Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.03520060117</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>201</b>
UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE INTELIGÊNCIA COMPETITIVA PARA DELINEAR ESTRATÉGIAS DE POSICIONAMENTO DE MERCADO DE EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS DE MONITORAMENTO	
Janaina dos Santos Melo Maria Fernanda Mascarenhas dos Santos Melis Levi dos Santos Sandra Malveira Grace Ferreira Ghesti Paulo Gustavo Barboni Dantas Nascimento	
<b>DOI 10.22533/at.ed.03520060118</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>213</b>
ANALISE COMPUTACIONAL DE VIGAS RETANGULARES DE CONCRETO ARMADO REFORÇADA AO CISALHAMENTO COM PRFC	
Maicon de Freitas Arcine Nara Villanova Menon	
<b>DOI 10.22533/at.ed.03520060119</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>228</b>
ANÁLISE COMPARATIVA DE TÉCNICAS DE INTERPOLAÇÃO APLICADAS À ANÁLISE DE POLUIÇÃO ELETROMAGNÉTICA	
Talles Amomy Alves de Santana Humberto Dionísio de Andrade Herick Talles Queiroz Lemos Matheus Emanuel Tavares Sousa Adriano Aron Freitas de Moura Ednardo Pereira da Rocha	
<b>DOI 10.22533/at.ed.03520060120</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>241</b>
ANÁLISE CRÍTICA E PROPOSIÇÕES DE INOVAÇÃO AO MÉTODO DE ENSAIO DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TERMICO À LUZ DA ABNT NBR 15575 (2013)	
Luciani Somensi Lorenzi Luiz Carlos Pinto da Silva Filho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.03520060121</b>	



## ANÁLISE CRÍTICA E PROPOSIÇÕES DE INOVAÇÃO AO MÉTODO DE ENSAIO DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TÉRMICO À LUZ DA ABNT NBR 15575 (2013)

Data de aceite: 26/11/2019

**Luciani Somensi Lorenzi**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
Departamento de Engenharia Civil – RS

**Luiz Carlos Pinto da Silva Filho**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Departamento de Engenharia Civil – RS

**RESUMO:** O momento é de consolidação de práticas e discussões de métodos de avaliação de desempenho de edificações, com especial atenção a ensaios e parâmetros estabelecidos na ABNT NBR 15575 (2013). Muitos ensaios estabelecidos nessa norma já fazem parte do conhecimento do setor da construção civil, porém o ensaio de ação de calor e choque térmico requer uma discussão e atualização. Este trabalho objetiva apresentar uma análise crítica e proposições de avanço ao método de ensaio de ação de calor e choque térmico, que compõe a avaliação de desempenho de durabilidade para sistemas de vedações verticais externos (SVVE). O método de pesquisa utilizado neste trabalho baseou-se na meta-análise de dados do acervo técnico do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LEME/UFRGS). Os resultados evidenciaram a necessidade de alterações no método de

ensaio e ajustes nos parâmetros. Diante disso foram elaboradas proposições de inovações ao método de ensaio e ajustes dos parâmetros para o ensaio de ação de calor e choque térmico. A pesquisa concluiu-se que as proposições têm potencial para serem incorporadas à ABNT NBR 15575, promovendo o avanço no método e parâmetro do respectivo ensaio.

**PALAVRAS-CHAVE:** Durabilidade, Ensaio Choque Térmico, Desempenho de Edificações

### CRITICAL ANALYSIS AND INNOVATION PROPOSALS OF HEAT AND THERMAL SHOCK TEST METHOD ACCORDING TO ABNT NBR 15575

**ABSTRACT:** The time is for consolidation of practices and discussion about building performance evaluation methods with special attention to the tests and parameters established in ABNT NBR 15575 (2013). Several tests established are already part of the knowledge at the construction industry but thermal shock testing requires discussion and updating. This study presents a critical analysis and advancement propositions to the method, which composes the durability performance evaluation for external vertical sealing systems (SVVE). The research method used in this work was based on the meta-analysis of data from the technical collection of the Laboratory of

Tests and Structural Models of the Federal University of Rio Grande do Sul (LEME / UFRGS). The results shows the necessity of updates in the test method and make adjustments in the parameters and innovations about these topics were elaborated. The research concluded that the propositions have great potential to be incorporated into ANBT NBR 15575 and make the progress in the test analysis.

**KEYWORD:** Durability, Thermal Shock Test, Building Performance

## 1 | INTRODUÇÃO

A construção civil brasileira encontra-se num período de grandes transformações na área tecnológica. O aumento da incorporação de novos materiais, em especial, às edificações habitacionais, e a ABNT NBR 15575 (2013), NBR 15575, estão promovendo mudanças positivas e significativas no setor. Há um aumento do interesse, por parte do mercado da construção civil, para conhecer o comportamento em uso dos sistemas construtivos nas edificações. Isso proporciona uma demanda por ensaios e análise dos resultados, refletindo em serviços para os laboratórios e instituições de avaliações técnicas da construção civil, bem como na análise das normas envolvidas para os referidos ensaios.

As normas não são absolutas e perfeitas, precisam de atualizações para acompanhar a velocidade das mudanças tecnológicas (BORGES, 2012). Os métodos de avaliação e parâmetros estabelecidos em normas, principalmente na NBR 15575, devem ser ajustados com o tempo (THOMAZ, 2012 e 2013). Em função da pouca experiência nacional em ensaios experimentais de desempenho para caracterizar o comportamento de sistemas construtivos, foram utilizados métodos importados de países com maior volume de pesquisas realizadas no tema. Ressalta-se que, embora o método seja adequado, as condições desses países são distintas da realidade brasileira, onde se destaca a falta de infraestrutura para a realização de ensaios. Esse fato já era alertado por Mitidieri Filho (1998) ao expor que metodologias para avaliação de desempenho foram trazidas de experiências dos países desenvolvidos onde as condições são bem diferentes, originando critérios muito rigorosos para a realidade existente.

A NBR 15575 tem alguns parâmetros que podem estar dissociados da realidade brasileira e que existe a necessidade de ajustes da norma, porém é fundamental começar a implantar a norma, mesmo que para isso sejam utilizados parâmetros limitantes aquém dos mínimos internacionais, (THOMAZ, 2013). Diante desse contexto, várias instituições desenvolveram ou adaptaram procedimentos de ensaio para avaliação de desempenho, especificamente o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e alguns laboratórios de universidades. Essa atitude é incentivada por Thomaz (2013) e Borges (2013) quando expressam que há muito a ser melhorado

nos requisitos, critérios, métodos de avaliação e parâmetros estabelecidos na NBR 15575, visto que muitos sistemas não estão contemplados.

Uma análise crítica dos ensaios para avaliação do desempenho de edificações, tendo como base a NBR 15575, concluiu que ensaios da área de segurança quanto ao desempenho estrutural possuem um histórico consistente, mas precisam de aprimoramento. Os demais ensaios de desempenho quanto a segurança, desempenho contra incêndio e de uso e operação se encontram numa fase de maturação aonde começam a ter o destaque merecido. Os ensaios relativos à área de habitabilidade, os ensaios de desempenho acústico e de estanqueidade à água, são realizados em maior número e possuem um histórico importante para avaliação de desempenho de edificações. Quanto aos demais ensaios de desempenho de edificações, estabelecidos na NBR 15575, não existe um histórico significativo que se destaque, principalmente, quando utilizados para avaliar os elementos que compõem os sistemas construtivos, (LORENZI, 2013).

Em vista a aproveitar a experiência acumulada ao longo dos últimos anos do LEME/UFRGS (Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul) para os ensaios de desempenho de edificações, este trabalho faz uma avaliação do ensaio de ação de calor e choque térmico para SVVE quanto ao procedimento e parâmetros, tendo como finalidade identificar possíveis ajustes e inovações ao mesmo. Dessa forma, é explorada a hipótese de o ensaio de ação de calor e choque térmico com a incorporação de avanços nos procedimentos permite resultados mais precisos do comportamento em uso das edificações e que parâmetros de aceitabilidade ajustados a composição dos SVVE propiciam uma avaliação mais coerente e justa dos sistemas.

Tendo por base o exposto foi estabelecido como objetivo principal deste trabalho realizar uma análise crítica do ensaio de ação de calor e choque térmico, estabelecido e recomendado na NBR 15575 para SVVE para avaliar o comportamento quanto a durabilidade durante a vida útil, e apresentar proposições de avanço ao procedimento e parâmetros de aceitabilidade.

## **2 | AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES**

A mudança de cultura da cadeia da construção civil em utilizar métodos de avaliação, mais precisamente ensaios para caracterizar o comportamento dos sistemas construtivos pode ocorrer em dois momentos distintos: o primeiro diz respeito à utilização de ensaios em edificações prontas para solucionar situações de conflito entre incorporador/construtor e usuário e o segundo quando da utilização de ensaios para caracterizar o comportamento em uso dos sistemas construtivos que são e/ou serão aplicados nas edificações, (BORGES, 2013).



A experiência europeia na área indica que a cultura do conceito de desempenho de edificações provoca a prática da realização de ensaios e que esse cenário é projetado para o Brasil nos próximos anos, tendo como consequência o aumento da demanda por ensaios. Entretanto, podem ocorrer atrasos significativos nesse cenário em decorrência da limitação da capacidade laboratorial instalada no país, (LORENZI, 2013).

A avaliação de desempenho de um sistema construtivo visa identificar se o sistema pode ser usado para produzir edifícios e se são capazes de atender as exigências de desempenho. Isso só é possível quando se trabalha com uma equipe multidisciplinar e de experiência na área e se tem disponível uma infraestrutura para tal. Esse conjunto viabiliza, quando necessário, ajustar ou criar novos padrões de desempenho para os sistemas construtivos, (BECKER, 2001). Outro aspecto a ter destaque diz respeito a métodos e procedimentos padronizados que permitam a reprodutibilidade e a verificação quanto ao atendimento dos requisitos de desempenho de edificações. Isso é extremamente relevante quando se trata da análise da viabilidade da utilização de um sistema, (MITIDIARI FILHO, 2007).

### **3 | ENSAIO DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TÉRMICO**

O ensaio de ação de calor e choque térmico é apresentado NBR 15575-4, sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE) de edificações habitacionais, para avaliar o requisito de durabilidade. O objetivo desse ensaio é analisar o comportamento do SVVE quanto a danos ao ser submetido a ciclos sucessivos de aquecimento por fonte de calor e resfriamento por jatos de água. A ideia é simular o estresse que as edificações sofrem durante sua vida útil por meio da variação de temperatura e umidade associada à ação das chuvas sobre o elemento (parede) aquecido.

O ensaio de ação de calor e choque térmico é um dos ensaios acelerados de envelhecimentos utilizados para avaliar o potencial comportamento do SVVE em uso. O ensaio promove o aumento da frequência da ocorrência de agentes que induzem a deterioração. Nesse caso o agente deteriorante é a variação brusca de temperatura na superfície do elemento, quando há o choque térmico. Essa situação acontece quando, após um dia com sol, a fachada da edificação é atingida por uma chuva repentina, (FONTENELLE, 2012).

Um dos aspectos importantes para o estudo da durabilidade de fachadas é seu comportamento frente a ciclos de aquecimento e resfriamentos bruscos. A diferença de temperatura entre a superfície e seu interior pode provocar tensões de elevada magnitude, deteriorando sistemas de fachadas, em particular os sistemas leves (com pequena inércia térmica) e aqueles compostos de várias camadas, com elementos não homogêneos, (OLIVEIRA, FONTENELLE & METIDIARI FILHO, 2014). Quando

a variação de temperatura é repentina a taxa de carregamento no elemento é alta, porém a propagação das deformações de origem térmica no elemento depende da velocidade de resposta do mesmo, até atingir o equilíbrio, (ESQUIVEL, 2009).

O ensaio de ação de calor e choque térmico estabelecido na NBR 15575-4 consiste em aplicar dez ciclos sucessivos de aquecimento e resfriamento para cada corpo de prova representativo do SVVE. A superfície exposta à ação do calor deve ficar com temperaturas entre  $(80^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C})$ , durante uma hora. Após esse período, é realizada a aspersão de água na superfície aquecida até se atingir temperaturas na faixa de  $20^{\circ}\text{C} (\pm 5^{\circ}\text{C})$ . O procedimento de ensaio requer um corpo de prova com extensão variável (largura) de  $1,20 \text{ m} \pm 0,20\text{m}$  e altura do pé-direito. O corpo de prova é colocado em um dispositivo de fixação que deixa o elemento simplesmente apoiado no bordo inferior e superior.

As recomendações da NBR 15575 quanto à avaliação do desempenho do SVVE levam em consideração a degradação causada pelo choque térmico, como: fissuras, falhas, descolamento, empolamento, deterioração, entre outros, decorrentes da dilatação térmica, retração e expansão. Também é considerado nessa avaliação o parâmetro de deslocamento horizontal máximo ( $h/300$ ), onde  $h$  é a altura do elemento. Para medir o deslocamento horizontal do elemento é posicionado no centro do elemento, na face oposta a aquecida e resfriada, um deflectômetro.

Entre a norma nacional e internacional, referente ao choque térmico em SVVE, constatou-se que há divergências quanto a categorias e parâmetros, por exemplo, a temperatura de aquecimento para a superfície exposta do SVVE recomendada pela NBR 15575-4 difere da diretriz ETAG 0004 (2008) que estabelece uma temperatura de  $70^{\circ}\text{C} (\pm 5^{\circ}\text{C})$  e das normas ISO 8336 (2009) e ASTM C1185-8 (2012) que estabelecem a temperatura de  $60^{\circ}\text{C} (\pm 5^{\circ}\text{C})$ . Essas por sua vez, foram desenvolvidas para materiais específicos. Outro ponto divergente é quanto à medição das temperaturas na superfície. Na norma nacional (NBR 15575) a medição é realizada por termopares acoplados diretamente na superfície do corpo de prova e na norma americana (ASTM C1185-8) os termopares são fixados em pequenas placas metálicas pintadas de preto, onde as placas é que são fixadas na superfície do corpo de prova, (OLIVEIRA, FONTENELLE & METIDIÉRI FILHO, 2014). O Quadro 1 resume as diferenças de parâmetros adotados nos métodos de ensaios de normas estrangeiras e brasileiras com relação a alguns desses aspectos anteriormente explicitados.

A análise dos ensaios de desempenho de edificações estabelecidos na NBR 15575 realizado por Lorenzi (2013) originou um mapeamento com “ensaios x edificações x critérios de análise interpretativa” servindo de base para identificar os ensaios a serem analisados criticamente em relação à interpretação quanto aos procedimentos, equipamentos e parâmetros. O resultado do mapeamento identificou que um dos ensaios que precisa ser aprimorado é o ensaio de ação de calor e choque térmico. Em estudo realizado por Oliveira, Fontenelle e Mitidiéri Filho (2014) foram propostas melhorias para o ensaio de ação de calor e choque térmico para

SVVE constituído de elementos leves ( $\leq 60\text{kg/m}^2$ ) considerando novos parâmetros, procedimentos ou condições para a realização do ensaio. O Quadro 2 apresenta um resumo das proposições de avanço ao ensaio de ação de calor e choque térmicos.

Um dos pontos importantes a ser incorporado ao ensaio é quanto a fixação do corpo de prova para a realização do ensaio em ambiente de laboratório. A contenção do corpo de prova deve restringir a expansão ou a contração do corpo de prova no sentido do comprimento, permitir a livre movimentação vertical e permitir o deslocamento transversal, ou seja, não oferecer nenhuma restrição à formação da flecha, decorrente do gradiente de temperatura na seção da parede. Essas considerações estão direcionadas para os sistemas que podem apresentar deslocamentos significativos em razão de variações dimensionais por efeito de temperatura e umidade é indicado fazer as contenções, (FONTENELLE E MEDITIDIERI FILHO, 2016)

O ensaio não tem um resultado único para todos os sistemas construtivos. A resposta do elemento ao choque térmico é condicionada às suas condições de contorno. Se houver restrições externas à livre deformação do sólido, o estado de tensões é agravado; e se a exposição ao fluxo de calor é simétrica em toda a superfície do sólido, a transferência de calor ocorrerá até se atingir o equilíbrio térmico, isto é, a temperatura será a mesma em todo o sólido, (ESQUIVEL, 2009).

Categoria	Parâmetros	Detalhamento dos parâmetros		
		NBR 15575-4 (ABNT, 2013b)	C1185-8 (AMERICAN..., 2012) e ISO 8336 (INTERNATIONAL..., 2009)	ETAG 004 (EUROPEAN..., 2008)
Aquecimento	Método de medição da temperatura do ensaio	Medição direta, feita por meio de termopares posicionados sobre a superfície aquecida do corpo de prova	Medição indireta – medida em corpo de prova de referência/placa metálica preta	Medição direta, feita por meio de termopares posicionados sobre a superfície aquecida do corpo de prova
	Tempo para atingir a temperatura de aquecimento máxima	Não estabelecido	Não estabelecido	1 h
	Temperatura máxima do ensaio	$(80 \pm 3)^\circ\text{C}$	$(60 \pm 5)^\circ\text{C}$	$(70 \pm 5)^\circ\text{C}$
	Tempo de permanência na fase aquecida	1 h	2 h 55 min.	2 h
	Variação admitida da temperatura entre centro e bordas do corpo de prova	$\pm 3^\circ\text{C}$	Não estabelecido	Não estabelecido

<b>Resfriamento com água</b>	Temperatura da água	Indefinida, porém até atingir a temperatura superficial do corpo de prova (20 ± 5) °C	≤ 30 °C	(15 ± 5) °C
	Quantidade de água	Indefinida	3,79 L/min.	≥ 1,0 L/m <sup>2</sup> min, o que equivale a aproximadamente 6 L/min
<b>Tempo</b>	Tempo de aspersão	Indefinido, mas até atingir a temperatura superficial de (20 ± 5) °C	2 h 55 min.	1 h
	Distribuição sobre a superfície	Uniforme	Uniforme	Uniforme
	Temperatura após resfriamento do corpo de prova	(20 ± 5) °C	Não estabelecido	Não estabelecido
<b>Ciclos</b>	Tempo de cada ciclo	Aproximadamente 6 h, porém depende da composição da parede	6 h	6 h
	Quantidade de ciclos	10	25	80
	Intervalo entre ciclos	Não estabelecido	5 min.	2 h
<b>Corpos de prova</b>	Dimensão	≥ 3,0 m <sup>2</sup> (1,2 m x 2,5 m)	≥ 3,5 m <sup>2</sup>	≥ 6,0 m <sup>2</sup>
	Restrição de movimentação das bordas	Sem restrição	Com restrição	Sem restrição
	Cor da superfície	Não estabelecido	Não estabelecido. A medição da temperatura máxima é feita sobre placa de referência, portanto a cor da superfície do corpo de prova não influi no ensaio.	Não estabelecido

Quadro 1 - Diferenças de parâmetros adotados entre os métodos de ensaios de normas estrangeiras e brasileira

Fonte: OLIVEIRA, FONTENELLE & METIDIÉRI FILHO (2014)

<b>Categoria</b>	<b>LORENZI (2013)</b>	<b>(OLIVEIRA, FONTENELLE &amp; MITIDIERI FILHO, 2014)</b>
<b>Aquecimento</b>	-	(80 ± 3)°C SVVE condições usuais (60 ± 3)°C SVVE condições especiais
	Tempo variável de acordo com a composição do SVVE	Tempo mínimo de 1h para o SVVE atingir a temperatura máxima
	-	Aumento de exposição de 1h para 2h de aquecimento
	Toda a área do corpo de prova deve ser exposta ao calor	Identificar distorções entre o centro e as bordas do corpo de prova
	Temperatura homogênea no corpo de prova	Controle de W/m <sup>2</sup>
<b>Resfriamento com água</b>	Manter a água resfriada na temperatura (20 ± 5)°C	Controlar a temperatura da água de resfriamento
	Tempo de resfriamento, aspensão e velocidade com que ocorre a variação de temperatura.	Tempo de aspensão, resfriamento e velocidade em que a variação de temperatura ocorre
	Água de resfriamento em temperatura constante	Forma de medição
	Aspensão de jatos de água constante e uniforme para atingir o corpo de prova, controlando a pressão da água	Distribuição superficial
	Reúso da água do ensaio	-
<b>Ciclos</b>	Ciclos sucessivos sem intervalo	Tempo entre ciclos para estabilização entre aquecimento e resfriamento
<b>Corpo de Prova</b>	Largura mínima 1,0 m a 1,40m	Largura mínima 2,40m
	Altura 2,50 m	Altura 2,50 m
	Com todos os detalhes do SVVE	Com todos os detalhes do SVVE
	Restrição lateral	Vinculação lateral
	Apoiado no inferior e restringido no superior	Apoiado no inferior e articulado no topo
	-	Cor da face externa: absorvância ≥ 0,5 para atingir 80°C em menor tempo
<b>Equipamento do painel radiante e aspensão de água</b>	Radiação por resistências elétricas	Radiação lâmpadas ou resistências elétricas
	Área do painel radiante = área do corpo de prova	-
	Possibilidade de inspeção a cada ciclo	
<b>Parâmetro de deslocamento horizontal</b>	Diminuir em 50% o limite para o deslocamento horizontal	-
	Acrescentar o deslocamento horizontal residual ( $d_{hr}$ )	-
<b>Ensaio de Estanqueidade à água da chuva</b>	Antes e depois do ensaio de ação de calor e choque térmico	Antes e depois do ensaio de ação de calor e choque térmico

Quadro 2 - Proposições de avanço para o ensaio de ação de calor e choque térmico



## 4 | MÉTODO

A estratégia experimental foi realizada com base nas proposições de avanço recomendadas por Lorenzi (2013). Os ensaios foram realizados no LEME/UFRGS no período de 2014 a 2016. Foram ensaiados 12 corpos de prova (sistema construtivos convencionais e inovadores, leves e pesados, rígidos e flexíveis) totalizando 280 ciclos, onde 220 ciclos são correspondentes a 11 corpos de prova e 60 ciclos a 2 corpos de prova. A estratégia experimental buscou atender a demanda básica do trabalho: analisar criticamente as proposições de avanço para melhoria dos resultados dos ensaios. As proposições de avanço incorporadas foram:

- Tempo de aquecimento de acordo com o sistema construtivo.
- Manter a água em reservatório a  $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ .
- Tempo de resfriamento de acordo com o sistema construtivo.
- Água para resfriamento sempre com a temperatura no intervalo  $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ .
- Aspersão de água uniforme (3 litros/ $\text{m}^2/\text{min.}$ ), constante e com pressão sem interferência no sistema construtivo.
- Reúso da água do ensaio.
- Ciclos sucessivos, sem intervalo.
- Inspeção visual a cada ciclo.
- Largura do corpo de prova 1,20 m.
- Altura do corpo de prova 2,50 m.
- Radiação por resistências elétricas.
- Aplicação do ensaio de estanqueidade à água da chuva antes e depois do ensaio de choque térmico.

As proposições foram analisadas de acordo com os seguintes critérios para o procedimento: aplicabilidade: este critério diz respeito à aplicação do ensaio quanto a dimensões mínimas do corpo de prova, posição do corpo de prova e local correto da aplicação do ensaio, e, também, quanto a informação da posição exata da instrumentação no corpo de prova ou protótipo; exequibilidade: este critério diz respeito a execução do ensaio, possibilidade de reprodução das proposições; fidedignidade e representabilidade dos resultados: este critério tem como preceito reconhecer que as proposições reproduzem da melhor forma a situação real ao qual estão sujeitos os sistemas; adequabilidade: este critério está associado à adequação do método do ensaio a distintos sistemas construtivos.

## 5 | RESULTADOS

Com a radiação apenas na parte inferior a convecção do ar ajudou a homogeneizar as temperaturas no corpo de prova, (Figura 1a). Destaca-se que em função das distintas composições dos SVVE e espessuras do corpo de prova o aquecimento e resfriamento tem respostas diferentes para atingir a temperatura de superfície ( $80^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ) e a temperatura do choque térmico ( $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ), sendo

necessário o ajuste da fonte de calor. Os jatos d'água foram padronizados para proporcionar uma simulação de chuva intensa, constante e uniforme, e tiveram uma pressão que não exerceu a influência no deslocamento horizontal ( $d_h$ ) no corpo de prova. A água utilizada foi mantida em temperatura controlada ( $15^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ). A temperatura controlada da água permitiu que os jatos d'água tenham sempre a mesma temperatura ao atingir a superfície aquecida, fazendo com que a temperatura da superfície aquecida abaixe mais rapidamente para ( $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ).

O reúso da água utilizada para o resfriamento do corpo de prova foi importante para a economia do ensaio. Cada ensaio foi composto por 10 ciclos de aquecimento e resfriamento, tendo como estimativa um consumo de 300 litros de água/ciclo/corpo de prova, ( $1,20 \pm 0,20$ )m de largura para 2,50m de altura - totalizando 3.000 litros por ensaio. A Figura 1(b) apresenta o esquema do fluxo da água para o resfriamento do corpo de prova utilizando bomba de recalque e filtro (este para evitar o entupimento dos bicos de aspersão d'água). Os resultados estão compilados em uma matriz que possibilita entender como cada proposição de avanço ao ensaio de ação de calor e choque térmico foi incorporada e se atendeu as expectativas, conforme é apresentado no Quadro 3.

A inspeção visual nem sempre é suficiente para uma avaliação precisa quanto à degradação sofrida pelo corpo de prova. Os ensaios de ação de calor e choque térmico foram perecidos do ensaio de estanqueidade à água da chuva. Após a finalização dos 10 ciclos foi realizado novamente o ensaio de estanqueidade. O ensaio de estanqueidade à água a chuva seguiu o estabelecido na NBR 15575-4 (2103). Identificou-se ainda a necessidade de ajustes e inovações no procedimento que promovam a reprodutibilidade das condições de exposição a fim de permitir proporcionar resultados mais fidedignos com o real comportamento em uso dos sistemas. O Quadro 4 apresenta novas proposições para o ensaio de ação de calor e choque térmico

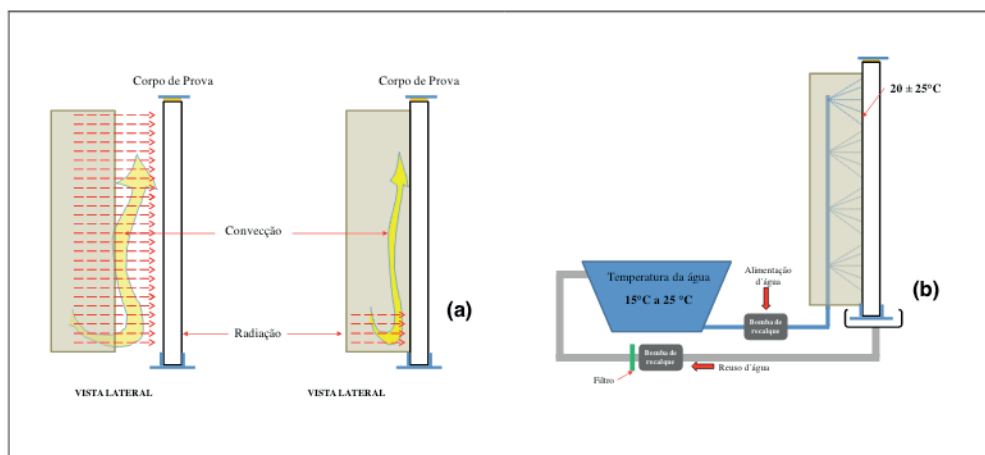


Figura 1: (a) Exemplo de radiação e convecção para ação de calor e choque térmico em SVVE e (b) Desenho esquemático do resfriamento e reúso da água, (LORENZI, 2013).

<b>Categoria</b>	<b>Proposições</b>	<b>Aplicabilidade</b>	<b>Exequibilidade</b>	<b>Fidedignidade e representabilidade dos resultados</b>	<b>Adequabilidade</b>
<b>Aquecimento</b>	Tempo de aquecimento de acordo com o sistema construtivo	ok	ok	1*	1*
<b>Resfriamento</b>	Manter a água em reservatório a $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ .	ok	ok	ok	ok
	Tempo de resfriamento de acordo com o sistema construtivo	ok	ok	2*	2*
	Água para resfriamento sempre com a temperatura no intervalo $(15 \pm 5)^\circ\text{C}$	ok	ok	ok	ok
	Aspersão de água uniforme (3litros/m <sup>2</sup> /min.) constante e com pressão sem interferência no sistema construtivo	ok	ok	ok	ok
	Reúso da água do ensaio	ok	ok	ok	ok
<b>Ciclos</b>	Ciclos sucessivos, sem intervalo	ok	ok	ok	ok
	Inspeção visual a cada ciclo	3*	3*	3*	3*
<b>Corpo de prova</b>	Largura do corpo de prova 1,20 m	ok	ok	ok	ok
	Altura do corpo de prova 2,50 m	ok	ok	ok	ok
<b>Equipamento</b>	Radiação por resistências elétricas	ok	ok	ok	ok
<b>Estanqueidade</b>	Aplicação do ensaio de estanqueidade à água da chuva antes e depois do ensaio de choque térmico	ok	ok	ok	ok

Quadro 3 - Resultado da incorporação das proposições para melhoria do ensaio de ação de calor e choque térmico, (1\*, 2\* e 3\* - Novas proposições de avanço ao ensaio).

<b>Ensaio</b>	<b>Novas Proposições</b>
<b>Corpo de Prova</b>	Restringir a parte superior - representar fielmente o sistema construtivo em uso.
<b>Aquecimento</b>	Tempo de aquecimento 15 – 20 min SVVE leve e flexível
	Tempo de aquecimento 35 – 40 min SVVE pesado e rígido
<b>Resfriamento a água</b>	Manter a água resfriada na temperatura $(15 \pm 5)^\circ\text{C}$
	Tempo de resfriamento 3min SVVE leve e flexível
	Tempo de resfriamento 6 min SVVE pesado e rígido
<b>Ciclos</b>	Manter ciclos sucessivos
<b>Equipamento do painel radiante e aspersão de água</b>	Radiação com resistências elétricas e lâmpadas ultravioleta UVA

Quadro 4 - Novas proposições de avanço ao ensaio de ação de calor e choque térmico

## 6 | CONCLUSÕES

A consolidação do conceito de desempenho, o estabelecimento de requisitos claros, objetivos e bem definidos e a incorporação de ensaios para o conhecimento do potencial desempenho de sistemas são exemplos de uma verdadeira revolução no setor da construção civil, que impacta diretamente na concepção de edificações. Os ensaios de desempenho de edificações se constituem em um meio rápido, preciso e confiável de prever o potencial comportamento em uso de SVVE e é relevante sua importância para a avaliação de desempenho de edificações. A realização e os resultados obtidos possibilitaram compreender melhor o que esperar como resultado em relação ao comportamento em uso de sistemas construtivos, inovadores ou não, submetidos a temperaturas ambientais extremas e resfriamento brusco com água.

Constatou-se, como esperado, que em virtude do ensaio não possuir um histórico consistente de utilização e de disseminação de resultados, é bastante impreciso na descrição do procedimento de ensaio e no detalhamento do equipamento. Embora não se tenha feito proposições quanto à inspeção visual e ao número de ciclos, observou-se a necessidade de ter critérios e parâmetros, para uma avaliação objetiva, evitando a subjetividade da inspeção visual. Em relação às proposições de avanço no método do ensaio de ação de calor e choque térmico foi possível comprovar que são pertinentes e contribuem significativamente para uma melhor estimativa de comportamento em uso do SVVE, inovador ou não.

As proposições apresentadas neste trabalho serão discutidas com outras instituições, principalmente integrantes da rede INOVATEC e da atual SIBRATEC. Conclui-se que as proposições estudadas têm potencial para serem incorporadas ao procedimento do ensaio de ação de calor e choque térmico, promovendo um resultado mais próximo da situação real.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 1185-8: standard test methods for sampling and testing non-asbestos fiber-cement flat sheet, roofing and siding shingles, and clapboards. Philadelphia, 2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575: Edifícios Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. NBR 15575: edifícios habitacionais – desempenho – parte 2: requisitos para os sistemas de estruturais. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. NBR 15575: edifícios habitacionais – desempenho – parte 4: requisitos para os sistemas de vedação verticais Internas e Externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

BECKER, R. An Integrated Approach to the Development of Performance Teste Methods and their Application to Evaluation and Design. The RILEM Journal Materials and Structures, 2001, Vol. 34, pp. 467 – 474.

BORGES C. A. Desempenho Revisado. Revista Técnica, 2012, Edição 192, pp. 42 – 49.

BORGES C. A. Norma de Desempenho entra em vigor. Disponível em: <<http://www.secovi.com.br/noticias/norma-de-desempenho-entra-em-vigor/5957>>. Acesso em: 31/01/2013.

ESQUIVEL, T. J. F. Avaliação da Influência do Choque Térmico na Aderência dos Revestimentos de Argamassa. São Paulo, 2009. 262 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS. ETAG 004: Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems With Rendering. Brussels, 2008. Disponível em: <[http://www.ue.itb.pl/files/ue/etag/etag\\_004.pdf](http://www.ue.itb.pl/files/ue/etag/etag_004.pdf)>. Acesso em: 16 mai. 2017.

FONTENELLE, J. H. Sistema de Fixação e Juntas em Vedações Verticais Constituídas Por Placas Cimentícias: estado da arte, desenvolvimento de um sistema e avaliação experimental. São Paulo, 2012. 219 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

FONTENELLE, J. H.; MITIDIÉRI FILHO, C. V.. Condições de contorno lateral dos corpos de prova submetidos ao ensaio de ação de calor e choque térmico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2016

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 8336: fbre-cement flat sheets. Geneva, 2009.

LORENZI, L., S. Análise Crítica e Proposições de Avanço nas Metodologias de Ensaio Experimentais de Desempenho à Luz da ABNT NBR 15575 (2013) para Edificações Habitacionais de Interesse Social Térreas. 222f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013, Porto Alegre: Brasil.

MITIDIÉRI FILHO, C. V. Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações: proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1998, São Paulo: Brasil.

MITIDIÉRI FILHO, C. V. Qualidade e Desempenho na Construção Civil. In: ISAIAS, G. C. (Org.). Materiais de Construção Civil e os Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais. 2007, v.1, pp. 37 – 73, 2007.

OLIVEIRA, L. A.; FONTENELLE, J. H.; MITIDIÉRI FILHO, C. V. . Durabilidade de fachadas: método de ensaio para verificação da resistência à ação de calor e choque térmico. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 53-67, out./dez. 2014.

THOMAZ, E. Tendências de Materiais, Tecnologias e Processos de Construção de Edifícios. In: Seminário: Tecnologia, Desempenho e Sustentabilidade na Construção Civil, 2012, Manaus: Instituto PINI Educação Profissional para Construção Civil, 2012. Disponível em: <<http://pinieventos.pini.com.br/seminarios/seminario-manaus/o-evento-244443-1.asp>>. Acesso em: 02/04/2013.

THOMAZ, E. O que é preciso fazer para atender a norma quanto ao desempenho de pisos. In: Seminário: Projeto, Especificações e Controle de Execução para Atender a Norma de Desempenho, São Paulo: SECOVI, 2013.