2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

PROPOSTA DE MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE RESIDÊNCIAS: NBR 15575[1]

KRELLING, Amanda F. (1); ELI, Letícia G. (2); OLINGER, Marcelo S. (3); VEIGA, Rodolfo K.S. (4); MELO, Ana P. (5); LAMBERTS, Roberto (6)

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, krellingamanda@gmail.com
(2) Universidade Federal de Santa Catarina, leticia.eli@posgrad.ufsc.br
(3) Universidade Federal de Santa Catarina, marcelo.olinger@gmail.com
(4) Universidade Federal de Santa Catarina, rodolfoksveiga@gmail.com
(5) Universidade Federal de Santa Catarina, a.p.melo@ufsc.br
(6) Universidade Federal de Santa Catarina, roberto.lamberts@ufsc.br

RESUMO

A avaliação de desempenho térmico de habitações brasileiras teve o processo normalizado em 2013, com a publicação da NBR 15575. Apesar da sua contribuição para o mercado brasileiro da construção civil, observam-se diversas lacunas na aplicação do seu método. Diante disso, este artigo tem como objetivo apresentar um novo método, proposto para a avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais, por meio do procedimento de simulação computacional. Como principais diferenciais do método proposto, citam-se: a análise por meio de simulações anuais; a consideração de cargas internas; a consideração dos efeitos da ventilação natural, assim como a quantificação da carga térmica remanescente. O procedimento baseia-se na comparação do modelo da edificação real com um modelo de referência, que representa um desempenho mínimo a ser superado. A aplicação do método é exemplificada por um estudo de casos, onde evidencia-se a sua capacidade de fornecer aos projetistas informações representativas do desempenho térmico anual da edificação, permitindo escolhas assertivas e que valorizem seu potencial bioclimático.

Palavras-chave: *Desempenho térmico, edificações residenciais, NBR 15575, simulação computacional.*

ABSTRACT

The evaluation of thermal performance of Brazilian residential buildings was standardized in 2013, when published the Brazilian Standard 15575. Despite its contribution to the Brazilian civil construction market, there are several gaps in the application of its method. Therefore, this article aims to present a new method, proposed for the assessment of the thermal performance of residential buildings, through the computer simulation procedure. The main differentials of the proposed method are: analysis through annual simulations; consideration of internal loads; consideration of natural ventilation effects, as well as quantifying remaining thermal loads. The procedure is based on comparing the model of the real building with a reference model, which represents a minimum

[1] KRELLING, Amanda F.; ELI, Letícia G.; OLINGER, Marcelo S.; VEIGA, Rodolfo K.S.; MELO, Ana P.; LAMBERTS, Roberto. Proposta de método de avaliação do desempenho térmico de residências: NBR 15575. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

performance to be overcome. The application of the method is exemplified by a case study, where its ability to provide designers with representative information of the building's annual thermal performance becomes evident, allowing assertive choices and valuing the bioclimatic potential.

***Keywords**: Thermal performance, residential buildings, Brazilian Standard 15575, computer simulation.*

1 INTRODUÇÃO

Em 2013, a norma brasileira de desempenho de edificações residenciais, NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2013), entrou em vigor com o objetivo de definir os requisitos dos usuários para os ambientes habitacionais. Dentre os requisitos de habitabilidade, é estabelecido o desempenho térmico, que visa garantir ao usuário condições térmicas adequadas para o desenvolvimento de suas atividades.

A avaliação de desempenho térmico da NBR 15575 (ABNT, 2013) permite a escolha entre os procedimentos simplificado e de simulação computacional. O procedimento simplificado avalia a edificação a partir da comparação das suas características com valores de referência. O procedimento de simulação permite considerar diferentes dados relativos à edificação em um programa que simula o seu comportamento termo energético ao longo do tempo.

Apesar da contribuição na normalização e difusão da simulação computacional para a avaliação do desempenho térmico de edificações, observam-se limitações no procedimento de simulação da NBR 15575 (ABNT, 2013). Destacam-se, segundo Sorgato *et al* (2012): 1) a análise limita-se a um dia típico de projeto, desconsiderando as variações climáticas ao longo do ano; 2) a taxa de renovação de ar do ambiente é constante, desconsiderando a possibilidade de soluções bioclimáticas e subestimando os efeitos da ventilação natural; e 3) não considera a ocorrência de cargas térmicas internas.

Com base nestas limitações, evidencia-se a necessidade de revisão dos procedimentos de avaliação do desempenho térmico, presentes na NBR 15575 (ABNT, 2013), de modo a melhor refletir a realidade das habitações brasileiras. Dessa maneira, o objetivo deste trabalho é apresentar a proposta de um método de avaliação do desempenho térmico de residências, por meio do procedimento de simulação computacional, para a atualização da NBR 15575.

Na data de submissão do presente estudo, esta proposta encontrava-se em processo de desenvolvimento e consolidação na Comissão de Estudos da ABNT, ficando sujeita a revisões até a sua aprovação.

2 MÉTODO

O método proposto para a avaliação do desempenho térmico de residências estabelece o desenvolvimento e comparação de dois modelos de simulação da edificação em análise: real e de referência. O modelo real considera todas as soluções construtivas determinadas no projeto. O modelo de referência, por sua vez, preserva a volumetria da edificação real, porém adota algumas características padronizadas, que levarão à obtenção de um desempenho referencial, a ser superado pelo modelo real.

As simulações devem ser realizadas para um período anual, com duas condições de uso da habitação (com e sem ventilação natural), e adotando

cargas térmicas internas. Os indicadores de desempenho são calculados para os Ambientes de Permanência Prolongada (APPs), e posteriormente convertidos em valores da Unidade Habitacional (UH). As principais características e melhorias propostas neste método são apresentadas nos itens subsequentes.

2.1 Valorização de estratégias bioclimáticas

A fim de refletir diferentes usos da edificação, são consideradas duas condições: 1) com o uso de ventilação natural; e 2) sem o uso de ventilação natural. A primeira condição prevê o desenvolvimento dos modelos (real e de referência) controlados de forma a utilizar somente a ventilação natural como estratégia de resfriamento dos ambientes internos. Assim, em substituição à uma infiltração constante (ABNT, 2013), o novo método propõe considerar a abertura de janelas de modo a promover a ventilação a partir de parâmetros de velocidade e direção do vento presentes no arquivo climático.

A segunda condição desconsidera a ventilação natural, adotando somente o condicionamento ambiental a partir de um sistema ideal de remoção ou adição de carga térmica. Os resultados dos modelos nas duas condições de uso da edificação refletem informações complementares. Quando realizada uma comparação horária, é possível identificar os períodos do ano em que a ventilação natural não é suficiente para manter as temperaturas operativas dos APPs dentro de uma faixa aceitável. Dessa forma, permite-se avaliar o potencial bioclimático do projeto, mensurando a carga térmica remanescente a ser atendida pela climatização artificial. Tal abordagem permite valorizar o projeto, observando o crescimento do uso de sistemas de ar condicionado, conforme projeções da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2019).

2.2 Aproximação de condições realistas de uso e ocupação

Com o objetivo de aproximar a modelagem de uma condição mais realista de exposição da UH, o método propõe considerar cargas térmicas internas. São consideradas cargas provenientes da ocupação dos usuários, do uso de sistema de iluminação e de equipamentos, com padrões adotados conforme Instrução Normativa INMETRO para edificações Residenciais (INI-R) (CB3E, 2018).

2.3 Comparação com um modelo de referência

O modelo de referência adotada a mesma volumetria do projeto, assim como as cargas internas e as condições de uso da edificação (itens 2.1 e 2.2). Porém, alteram-se características relativas ao sistema construtivo, ao percentual de vidros nas fachadas e à área efetiva de ventilação. A referência possui características baseadas no DATec Nº 035-A (PBQP-H, 2020), com paredes de concreto de 10 cm, com absortância solar igual a 0,50. A cobertura é composta por laje de concreto de 10 cm, câmara de ar e telha de fibrocimento de 8 mm com absortância igual a 0,60. Na zona bioclimática 8 (ABNT, 2005), também considera-se na cobertura um isolante com resistência térmica de 0,67 (m².K)/W. Os vidros são redimensionados para atender à área equivalente a 17% da área de piso, permitindo-se a abertura de 45% deste vidro para ventilação.

Diferente do modelo real, a referência desconsidera qualquer superfície de sombreamento. Esta determinação dá-se pelo falo de que a inclusão de sombreamento, como beirais e sacadas, pode representar uma importante

ferramenta para a elevação do desempenho térmico de edificações. No entanto, o efeito destes dispositivos somente será evidenciado quando comparado com uma referência que não dispõe de tais elementos. Por esse motivo, essas superfícies devem ser representadas apenas no modelo real, de modo a valorizar projetos que considerem estratégias de sombreamento.

Como a aplicação destas características é realizada sobre o próprio projeto em análise, obtém-se valores de desempenho mínimo proporcionais à realidade da residência, para o clima da sua implantação. Ademais, a comparação entre o modelo real e o de referência permite que se neutralizem ou reduzam diversas imprecisões das simulações computacionais. Dentre as fontes de incertezas, citam-se: as simplificações dos processos físicos nos *softwares* e as imperfeições nos dados dos arquivos climáticos. Além disso, esta abordagem já é adotada em normativas internacionais, como a ASHRAE 90.1 (ASHRAE, 2019).

2.4 Atualização dos indicadores de desempenho térmico

São propostos três indicadores: o Percentual de Horas ocupadas dentro de uma faixa de Temperatura operativa (PHFT), as Temperaturas operativas anuais máxima (Tomáx) e mínima (Tomín), e a Carga Térmica Total (CgTT). Tais dados são obtidos para os modelos real e de referência, para posterior comparação.

Cada indicador busca refletir diferentes comportamentos identificados nas edificações ao longo do ano. Dessa forma, faz-se possível uma análise robusta do seu desempenho térmico, garantindo verificações quanto ao percentual de tempo em que a edificação se encontra com temperaturas adequadas, quanto à ocorrência de temperaturas extremas na UH, assim como quanto à quantificação da necessidade do condicionamento artificial.

2.4.1 Percentual de horas ocupadas dentro de uma faixa de temperatura operativa (PHFT)

O PHFT representa a fração de horas em que os APPs se encontram com temperaturas operativas dentro das faixas da Tabela 1, consideradas no período de ocupação de cada APP durante o ano. Estas faixas foram estabelecidas em função da média anual da temperatura externa de bulbo seco (TBS_m) dos arquivos climáticos INMET de 411 cidades brasileiras disponíveis em Crawley e Lawrie (2020). O PHFT deve ser calculado para cada APP da UH. O PHFT da UH é obtido por meio da média aritmética dos resultados dos APPs.

Tabela 1 – Faixas de temperatura para o cálculo do PHFT

Intervalo	**TBS_m**	**Faixa de temperatura operativa**
1	$TBS_m < 25°C$	18°C < temperatura operativa do APP < 26°C
2	$25°C \leq TBS_m < 27°C$	temperatura operativa do APP < 28°C
3	$TBS_m \geq 27°C$	temperatura operativa do APP < 30°C

Fonte: Os autores

As faixas do PHFT correspondem à limites de habitabilidade relacionados ao desempenho térmico da edificação. Tais limites não necessariamente se traduzem em conforto térmico para todos os ocupantes, visto que este também se relaciona com outros parâmetros psicológicos e fisiológicos que não competem à NBR 15575. No entanto, os valores da Tabela 1 encontram respaldo nos padrões identificadas por de Dear, Kim e Parkinson (2018) e por Ramos *et al.*

(2020), cujos trabalhos baseiam-se em pesquisas de campo a respeito das preferências térmicas de usuários de edificações residenciais.

2.4.2 Temperaturas operativas anuais máxima (Tomáx) e mínima (Tomín)

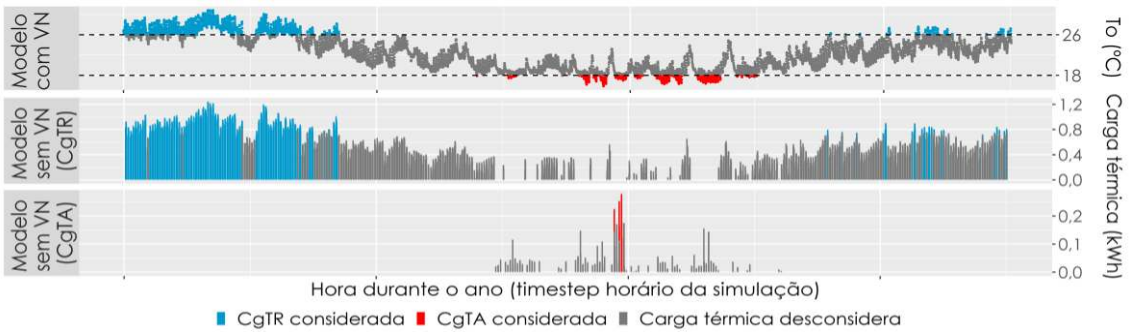
A Tomáx e a Tomín são obtidas a partir das temperaturas operativas horárias de cada APP, durante a respectiva ocupação. Os extremos de temperatura da UH são obtidos considerando o valor mais alto e o mais baixo dentre todos os APPs.

Devido ao clima quente predominante no Brasil, deve-se observar a Tomáx em todas as Zonas Bioclimáticas brasileiras (ZBs). A Tomín deve ser observada somente em locais com períodos frios significativos, relativos às ZBs 1 a 3.

2.4.3 Carga térmica total (CgTT)

A CgTT representa a soma das Cargas Térmicas anuais de Refrigeração (CgTR) e Aquecimento (CgTA). O cálculo da CgTT requer a comparação horária dos resultados dos modelos com e sem ventilação natural (VN). Nos intervalos em que a temperatura operativa (To) do APP, no modelo com o uso da VN, ultrapassar os limites da Tabela 1, deve-se somar a carga térmica deste intervalo no modelo sem o uso da VN, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Exemplo de comparação dos modelos para quantificação da CgTT



Fonte: Os autores

2.5 Níveis de desempenho térmico

A NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece três níveis de desempenho: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S). A partir dos indicadores propostos, foram definidos os critérios para a obtenção de cada nível. O nível Mínimo busca explorar o potencial bioclimático da edificação, analisando-se somente os indicadores provenientes da simulação que utiliza a ventilação natural. Dessa forma, a aprovação do nível Mínimo requer que o PHFT do modelo real ($PHFT_{real}$) seja superior ao PHFT da referência ($PHFT_{ref}$). Além disso, a $Tomáx_{real}$ deverá ser inferior à $Tomáx_{ref}$, após somado 1°C de tolerância. Nas ZBs 1 a 3, também se exige que a $Tomín_{real}$ seja superior à $Tomín_{ref}$, após reduzido 1°C.

O nível Intermediário, além de exigir os critérios de nível Mínimo, também requer uma elevação mínima do $PHFT_{real}$, em relação ao $PHFT_{ref}$, chamada de $ElevPHF_{mín}$. Além disso, a $CgTT_{real}$ deverá ser inferior à $CgTT_{ref}$. Para o nível Superior, além de atendido o nível Intermediário, o modelo real deve obter uma redução percentual mínima da $CgTT_{real}$, em relação à $CgTT_{ref}$ ($\%RedCgTT_{mín}$).

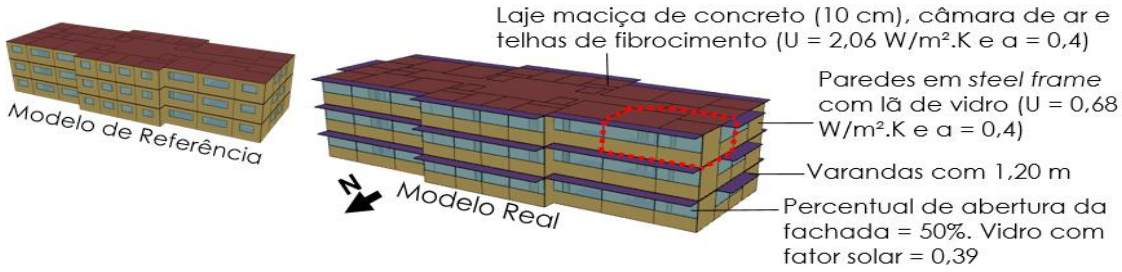
Os valores de $ElevPHF_{mín}$ e de $\%RedCgTT_{mín}$ variam com a tipologia da

edificação, com o pavimento em que se localiza a UH e com a zona bioclimática (ABNT, 2005). Tais valores foram estabelecidos por meio do desenvolvimento de um banco de dados de simulações, com mais de 60.000 casos, que buscam compreender a realidade brasileira com relação ao clima e ao estoque construído. O procedimento de determinação das escalas dos níveis de desempenho é apresentado por Veiga *et al.* (2020, no prelo).

2.6 Análise de casos

Para ilustrar a aplicação do método proposto, foi considerada uma edificação multifamiliar, com características descritas pela Figura 2, onde U corresponde à transmitância térmica e a corresponde à absortância solar. Foram adotados os climas de Curitiba (ZB 1), no Paraná, e São Luís (ZB 8), no Maranhão. Foi analisada uma UH no pavimento cobertura, voltada para noroeste. Foram utilizados arquivos climáticos INMET (CRAWLEY; LAWRIE, 2020), com simulações realizadas no programa EnergyPlus, versão 9.0.1.

Figura 2 – Características da edificação



Fonte: Os autores

3 RESULTADOS

Este capítulo apresenta a análise do desempenho térmico dos casos descritos no item 2.6, como forma de contextualizar e descrever as melhorias propostas para o procedimento de simulação computacional da NBR 15575.

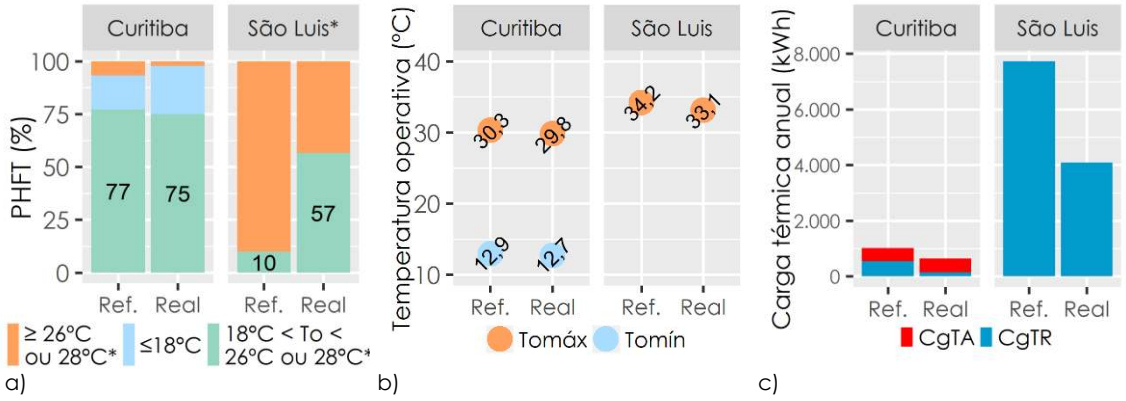
A partir dos arquivos climáticos, foi obtida a TBS_m, igual a 17,4ºC e 26,8ºC para Curitiba e São Luís, respectivamente. Dessa forma, Curitiba enquadrou-se no Intervalo 1 da Tabela 1, com PHFT calculado entre 18ºC e 26ºC. São Luís foi classificada no Intervalo 2, com limite do PHFT igual a 28ºC. A Figura 3 apresenta os resultados dos três indicadores, para os modelos real e de referência (Ref.).

Dentre os casos analisados, a UH na cidade de Curitiba não atendeu ao nível mínimo de desempenho. Nesta UH, o $PHFT_{real}$ foi igual a 75%, inferior aos 77% obtidos pela referência. Observar-se que o projeto nesta cidade levou ao aumento da ocorrência de temperaturas menores do que 18ºC dentro da edificação, o que também fica visível com a leve redução da $Tomín_{real}$, em relação à referência. A tendência de resfriamento da UH também pode ser observada pela redução da carga térmica de refrigeração no modelo real, com CgTT reduzida em 37% em relação ao modelo de referência.

São Luís, por outro lado, teve o desempenho térmico significativamente melhorado no modelo real, com elevação do PHFT igual a 47% ($PHFT_{real}$ – $PHFT_{ref}$). A partir dos três indicadores, percebe-se que o projeto foi eficiente em propiciar temperaturas adequadas, enquanto naturalmente ventilado, ao mesmo tempo que reduziu a carga térmica de refrigeração em 47%, quando necessário o

condicionamento artificial. Além disso, não foram identificadas temperaturas operativas extremas nos APPs, com $Tomáx_{real}$ inferior à $Tomáx_{ref}$.

Figura 3 – Resultados de a) PHFT, b) Tomáx e Tomín e c) CgTT para a UH



Fonte: Os autores

Segundo o procedimento de determinação das escalas, descrito por Veiga *et al* (2020, no prelo), a UH em São Luís atenderia o nível Intermediário, pois obteve elevação do $PHFT_{real}$ superior a 36% ($ElevPHF_{mín}$). O nível Superior não foi atendido, pois seria necessária a redução de 69% da $CgTT_{real}$ ($\%RedCgTT_{mín}$).

Por meio da clara delimitação das exigências de cada nível, espera-se incentivar o mercado da construção civil a buscar melhores resultados. Ao invés do simples atendimento à uma normativa, a obtenção de nível Intermediário ou Superior funciona também como atestado de qualidade do projeto no que tange o desempenho térmico. Ademais, o estabelecimento de diferentes indicadores auxilia na maior compreensão do comportamento da edificação, bem como permite a comparação entre diferentes soluções construtivas.

4 CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentado um método de avaliação do desempenho térmico de residências, por meio de simulações computacionais, como proposta para a atualização da NBR 15575 (ABNT, 2013). A proposta tem como principais características: a consideração de simulações anuais; a adoção de cargas internas; a análise com o uso da ventilação natural e com o condicionamento artificial; e a comparação da edificação real com uma referência.

Considerando essas premissas, foram estabelecidos três indicadores de avaliação: o Percentual de Horas ocupadas dentro de uma Faixa de Temperatura operativa (PHFT), as Temperaturas operativas máxima e mínima (Tomáx e Tomín), e a Carga Térmica Total (CgTT). Cada um desses indicadores tem como objetivo permitir uma análise mais representativa dos diversos cenários em que o desempenho térmico poderia vir a ser prejudicado, como a ocorrência de temperaturas muito elevadas dentro do ambiente. Além disso, o método não se propõe a estabelecer valores fixos a serem atendidos para cada um dos indicadores, em função da diversidade climática brasileira que dificulta generalizações. A abordagem, contudo, se faz a partir da comparação com um modelo de referência, que representa o desempenho referencial a ser superado. Dessa forma, permite-se avaliar o desempenho térmico da edificação dentro das limitações impostas por cada clima.

A partir da análise de casos, observa-se que, mesmo com um PHFT alto, o projeto aplicado à cidade de Curitiba não lhe conferiu a aprovação do desempenho. Isso ocorreu, pois, comparando com a referência, o modelo real não se beneficiou do clima local como seria possível. Por outro lado, o mesmo projeto em São Luís permitiu potencializar as características climáticas, de modo a melhorar significativamente o desempenho, lhe conferindo o nível Intermediário. Na aplicação do método proposto, cada indicador refletiu informações relevantes para melhor compreender o desempenho térmico da edificação, como a verificação de que as soluções construtivas adotadas em Curitiba aumentaram os períodos de frio na edificação, assim como elevaram a carga térmica de aquecimento. Tais resultados representam importantes informações para os projetistas, o que reforça a capacidade do método em fornecer uma avaliação abrangente do desempenho térmico das residências.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575-1:** Edificações Habitacionais – Desempenho, Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ASHRAE AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 90.1-2019**: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. SI ed. Atlanta: ASHRAE, 2019.

CB3E CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Proposta de Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. 2018. Disponível em: < http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/2018-09-25-INI-R%20-%20Vers%C3%A3o02.pdf >. Acesso em: 2 mar. 2020.

CRAWLEY, D.B.; LAWRIE, L.K. **Climate One Building**. Disponível em: < http://climate.onebuilding.org >. Acesso em: 15 abr. 2020.

DE DEAR, R.; KIM, J.; PARKINSON, T. Residential adaptive comfort in a humid subtropical climate - Sydney Australia. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 1296–1305, 2018.

EPE EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA**. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. Brasília, 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2029>. Acesso em: 29 abr. 2020.

PBQP-H PROGRAMA BRASILEIRO DE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT. **DATec Nº 035-A**. 2020. Disponível em: <http://pbqp-h.mdr.gov.br/projetos_sinat.php>. Acesso em: 1 set. 2020.

RAMOS, G. *et al.* Adaptive behaviour and air conditioning use in Brazilian residential buildings. **Building Research & Information**, p. 1-16, 2020.

SORGATO, M.J.; MARINOSKI, D.L; MELO, A.P.; LAMBERTS, R. **Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública**. 2012. Disponível em: < https://labeee.ufsc.br/node/397 >. Acesso em: 2 mar. 2020.

VEIGA, R.K.S.; OLINGER, M.S.; KRELLING, A.F.; ELI, L.G.; MELO, A.P.; LAMBERTS, R. Proposta para as escalas dos níveis de desempenho térmico de residências: NBR 15575. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020. No prelo.