XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

EFICÁCIA DA VENTILAÇÃO NATURAL NO INCREMENTO DO CONFORTO TÉRMICO EM CLIMAS QUENTES NO BRASIL

EFFECTIVENESS OF NATURAL VENTILATION INCREASING THERMAL COMFORT IN HOT BRAZILIAN CLIMATES

Iuri Ávila L. de Araújo
Universidade Federal de Alagoas - UFAL | Maceió-AL | Brasil | iuriav@gmail.com
Leonardo Salazar Bittencourt
Universidade Federal de Alagoas - UFAL | Maceió-AL | Brasil | lsb54@hotmail.com

Resumo
A ventilação natural contribui para o conforto térmico em edificações localizadas em climas quentes e é função da tipologia das aberturas, além dos ventos locais. No entanto, diretrizes construtivas para conforto nos edifícios no Brasil enfocam apenas as aberturas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a efetividade da ventilação natural na promoção do conforto térmico pela velocidade do ar, a partir de modelos de HIS unifamiliar, amostra de climas quentes no Brasil, simulações com EnergyPlus e Ansys CFX e baseado em conforto adaptativo. Os resultados indicaram potencial significativo da velocidade do ar no incremento do conforto e baixa eficácia da ventilação natural em explorar esse potencial.

Palavras-chave: Ventilação natural. Climas quentes. Conforto adaptativo. Habitação de interesse social unifamiliar.

Abstract
Natural ventilation affects thermal comfort in hot climates it depends on openings configuration and local wind patterns. However, Brazilian constructive guidelines for comfort in buildings focus only on openings. This paper aims to evaluate the effectiveness of natural ventilation strategies to promote thermal comfort by increasing air velocity based on single-family housing models, samples of hot Brazilian climates, simulations with EnergyPlus and Ansys CFX, and the adaptive comfort approach. Results indicate a significant potential of air velocity to increment thermal comfort, though the low effectiveness of natural ventilation in exploiting this potential.

Keywords: Natural ventilation. Hot climates. Adaptive comfort. Single family housing.

Como citar:
ARAÚJO, Iuri A. L. de; BITTENCOURT, Leonardo S. Eficácia da ventilação natural no incremento do conforto térmico em climas quentes no Brasil. ENTAC2022. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO,19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-15.

INTRODUÇÃO

Estratégias bioclimáticas são recomendações de projeto que promovem a adaptação do edifício ao clima, a fim de proporcionar o conforto por meios passivos. A estratégia de ventilação natural contribui para atenuar o desconforto por calor ao promover perda de calor do edifício por convecção e resfriamento fisiológico dos ocupantes, em climas quentes. Ela é função das aberturas e das frequências de direção e velocidade do vento.

Diretrizes construtivas são recomendações de projeto que podem conduzir à aplicação eficaz de estratégias bioclimáticas, promovendo conforto térmico nos edifícios e inibindo o consumo de energia para fins de conforto.

A evolução das diretrizes construtivas que visam o conforto passivo teve impulso notável no Brasil com a publicação da norma NBR 15220. Essa norma estabeleceu o Zoneamento Bioclimático Brasileiro em sua Parte 3 [1] [15], dividindo o território brasileiro em oito zonas bioclimáticas e definindo diretrizes construtivas para habitação de interesse social (HIS) unifamiliar. Essas diretrizes abrangiam a envoltória do edifício, o tamanho e a operação das aberturas, para maior conforto por adaptação ao clima. Posteriormente a norma do zoneamento bioclimático, surgiu o Regulamento Técnico para a Qualidade do Nível de Eficiência Energética das Edificações Residenciais, RTQ-R [18] e a norma NBR 15575 Edificações Habitacionais, Desempenho [2]. Esses instrumentos normativos oferecem diretrizes por meio de seu método prescritivo, recomendando áreas mínimas de abertura.

Apesar das atuais propostas de revisão, as mesmas diretrizes construtivas sobre área de abertura permanecem vigentes [3] [11]. No entanto, a estimativa da eficácia da ventilação com base apenas em área de abertura desconsidera a influência dos ventos locais. Isso pode influenciar a ventilação natural, conduzindo a subaproveitamento da velocidade do ar para incrementar o conforto.

OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é avaliar o incremento efetivo do percentual do ano em conforto para uma edificação HIS unifamiliar devido à ventilação natural, em climas quentes do Brasil.

MÉTODO

O método consiste em uma análise comparativa do desempenho de modelos, representativos de HIS unifamiliares no Brasil e de diretrizes construtivas da NBR 15220-3 e da NBR 15575. A análise de desempenho permite comparar a eficácia da ventilação natural no incremento do conforto térmico pela velocidade do ar, com base no conforto adaptativo.

AMOSTRA DE CLIMAS

Um procedimento de amostragem aleatória estratificada selecionou sete arquivos climáticos de municípios brasileiros em formato “epw”, da base INMET 2018 [22]. O

procedimento de seleção buscou municípios que representassem climas entre os mais quentes do Brasil, devendo estar contidos nas zonas bioclimáticas ZB7 e ZB8 [1] e também nos grupos climáticos de G17 a G24 [28] [9], que apresentam média anual de temperatura acima de 25°C. Essa busca fez uso de listas de municípios classificados pelo clima, contida nos anexos da instrução normativa INI-C, da Portaria Inmetro N° 42 [20]. A Tabela 1 apresenta os sete municípios selecionados na amostra, que se localizam nas regiões Norte e Nordeste do Brasil.

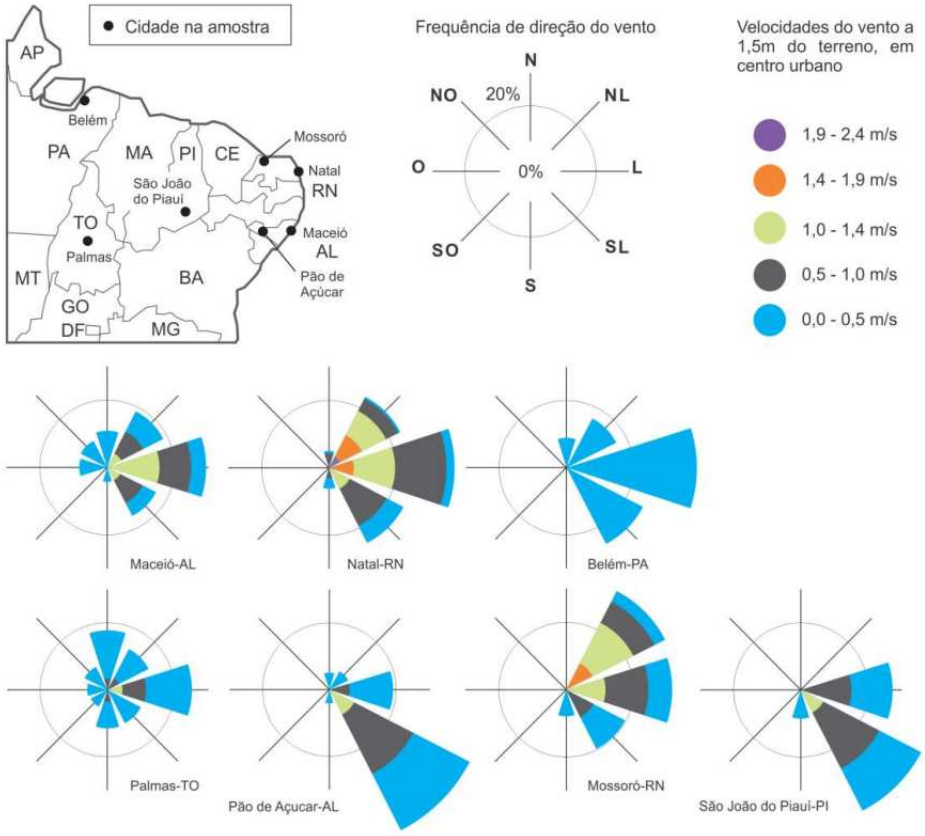
Tabela 1: Amostra de climas usada no estudo.

Cidade– UF	ZB	G	Lat.	Long.	Alt.	Arquivo climático (INMET 2018-LABEEE)
Belém-PA	ZB8	G17	1°S	48°W	16m	BRA_PA_Belem-Val.de.Cans.Intl.AP.821930_TMYx.2003-2017
Natal-RN	ZB8	G18	6°S	35°W	51m	BRA_RN_Natal.Intl.AP.825990_TMYx.2003-2017
S. João do Piauí-PI	ZB7	G19	7°S	38°W	234	BRA_PI_Sao.Joao.do.Piaui.828790_TMYx.2003-2017
Palmas-TO	ZB7	G20	10°S	48°W	280m	BRA_TO_Palmas-Rodrigues.AP.830650_TMYx.2003-2017
Maceió-AL	ZB8	G21	10°S	36°W	118m	BRA_AL_Maceio-Palmares.Intl.AP.829930_TMYx.2003-2017
Mossoró-RN	ZB7	G22	5°S	37°W	23m	BRA_RN_Mosoro-Dix.Sept.Rosado.AP.825910_TMYx
Pão de Açúcar-AL	ZB8	G24	10°S	37°W	19m	BRA_AL_Pao.de.Acucar.819940_INMET

Fonte: Os autores, a partir de dados INMET 2018 [22].

A Figura 1 apresenta dados de vento dos municípios da amostra, com velocidades corrigidas por gradiente [10], para 1,5 m de altura e coeficiente de rugosidade para centro urbano. As maiores frequências correspondem às direções Nordeste, Leste, Sudeste. As maiores frequências ocorreram com velocidades de até 1,4 m/s.

Figura 1: Dados de velocidade e direção do vento na amostra de municípios.



Nota: Adaptado pelos autores de Projeteee [24], a partir de dados da base INMET 2016.

A Tabela 2 mostra que as médias anuais de velocidade de vento dos municípios da amostra variam de 0,4 m/s (em Pão de Açúcar-AL) a 1 m/s (em Natal-RN). Embora os valores máximos cheguem a 6,2 m/s (em Natal-RN) e ocorram períodos de calmaria de até 29,6% do ano. A média anual de velocidade do vento nos municípios brasileiros é de 0,6 m/s. A maior média anual de um município no Brasil é de 1,2 m/s e a maior média mensal é de 1,5 m/s [16], considerando velocidades corrigidas por gradiente [10], para 1,5m de altura e rugosidade de centro urbano.

Tabela 2: Dados de vento da amostra de municípios, a 1,5m de altura e com rugosidade de centro urbano.

Município-UF	Velocidade média anual a 1,5 m	Velocidade máxima anual a 1,5 m	Frequência anual de calmarias (< 0,5 m/s)
Belém-PA	0,5 m/s	2,8 m/s	3,9%
Natal-RN	1,0 m/s	6,2 m/s	1,1%
S. João do Piauí-PI	0,5 m/s	1,7 m/s	13,8%
Palmas-TO	0,5 m/s	2,8 m/s	8,5%
Maceió-AL	0,7 m/s	3,8 m/s	3,8%
Mossoró-RN	0,9 m/s	4,9 m/s	4,8%
Pão de Açúcar-AL	0,4 m/s	1,8 m/s	29,6%

Fonte: Os autores, a partir de dados INMET 2018 [22].

DEFINIÇÃO DOS MODELOS

Para a definição dos modelos a estudar, considerou-se como base um modelo representativo da tipologia HIS unifamiliar no Brasil. Esse modelo foi uma proposição da Caixa Econômica Federal [12] para um projeto de residência unifamiliar térrea, com dois dormitórios e área construída de 42 m², como apresentado na Figura 2.

Figura 2: Projeto padrão de Habitação de Interesse Social da CEF.

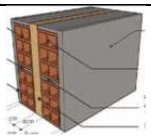
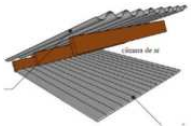
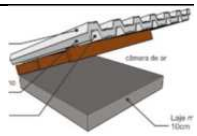


Fonte: Adaptado de Cadernos CAIXA: projeto padrão – casas populares – 42m² [12].

A definição dos modelos do estudo ocorreu por modificações efetuadas no modelo base, a fim de adaptá-lo aos climas da amostra, a partir de diretrizes construtivas da norma NBR 15220-3 [1] para zona ZB7 e ZB8. Para tanto foi preciso definir paredes e cobertura “leve refletoras” (PLR e CLR), para ZB8, paredes e cobertura “pesadas” (PP

e CP), para a ZB7, nos termos da norma NBR 15220-3 [1]. A seleção dos sistemas construtivos se deu entre as opções do Anexo Geral V do RAC, na Portaria nº 50 [19]. Assim, na definição das paredes adotou-se os sistemas construtivos de número 9 (para PLR) e 37 (para PP) e as coberturas fizeram uso dos sistemas construtivos de número 11 (para CLR) e 20 (para CP). O detalhamento dos mesmos se baseou no Anexo A, da Biblioteca de Componentes Construtivos Brasileiros para Uso no Programa *EnergyPlus* [33]. A parede PLR corresponde a 14 cm de espessura, alvenaria de bloco cerâmico (seis furos, 9 cm, 14 cm, 24cm), revestida com argamassa e pintura de ambos os lados. A parede PP corresponde a 27 cm de espessura, composta por alvenaria dupla de bloco cerâmico (seis furos, 9 cm, 14 cm, 24 cm), com camada intermediária de 4 cm de lã de rocha e revestida com argamassa e pintura de ambos os lados. A cobertura CLR é composta por telhado de fibrocimento, com câmara de ar e forro em PVC. A cobertura CP é composta por telhado metálico termoacústico, com camada intermediária de poliestireno, câmara de ar e laje de 10 cm de concreto maciço. As propriedades dos sistemas de parede e cobertura são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Propriedades dos sistemas de envoltória adotados e diretrizes.

				
	PLR (ZB8) **Valor (diretriz)**	**PP (ZB7)** **Valor (diretriz)**	**CLR (ZB8)** **Valor (diretriz)**	**CP (ZB7)** **Valor (diretriz)**
Transmitância térmica U (W/m²K)	2,4 (≤3,6*)	0,7 (≤2,2*)	1,8 (≤2,3*)	0,68 (≤2*)
Fator Solar (%)	3,1 (≤4*)	0,9 (≤3,5*)	4,5 (≤6,5*)	0,4 (≤6,5*)
Atraso térmico φ (h)	3,3 (≤4,3*)	8,7 (≥6,5*)	0,8 (≤3,3*)	11,2 (≥6,5*)
Capacidade Térmica (kJ/m²K)*	150 (≥130**)	183 (≥130**)	16 (- **)	229 (- **)
Absortância solar*	0,33 (≤0,4**)	0,33(≤0,6**)	0,64 (≤0,4**)	0,16 (≤0,4**)

* NBR 15220-3 (ABNT, 2005). **RTQ-R (INMETRO, 2012) e NBR 15575-4 (ABNT, 2021).

Fonte: Os autores a partir de dados do Anexo Geral V do RAC, na Portaria n.º 50 [19].

A absortância solar das paredes corresponde à pintura com tinta acrílica fosca, na cor Pérola (n° 14, α = 0,33) [19]. As absortâncias solares das telhas de fibrocimento e metal foram respectivamente 0,64 e 0,16, correspondendo aos padrões TFC09, e TCE01, em publicação de Dorneles [13]. A deterioração das propriedades das superfícies não foi avaliada.

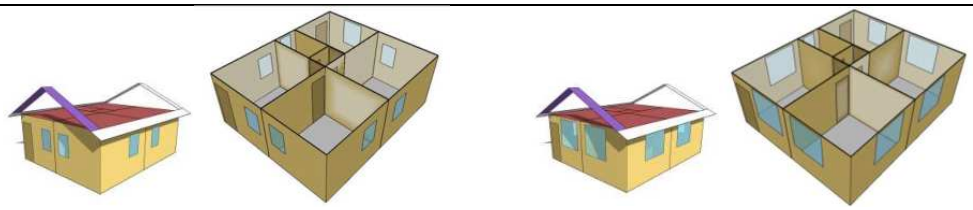
O piso nos modelos se constitui de uma camada de 9,8 cm de concreto, seguido de uma camada de 2 cm de contrapiso em argamassa e uma camada superior de piso cerâmico, com 0,75 cm [33]. As portas foram modeladas com madeira de 3 cm e as esquadrias como uma moldura de alumínio natural, sem montantes, tendo como referência as propriedades descritas na NBR 15220-3 [1]. O envidraçamento das janelas foi simples, em vidro incolor de 3 mm, com transmitância visível de 0,89, fator solar de 75% e transmitância térmica de 5,67 W/m²K.

As diretrizes construtivas da NBR 15220-3 [1] para as zonas ZB7 e ZB8, que afetam a ventilação, são respectivamente de ventilação seletiva por aberturas pequenas (de

10% a 15% da área útil) e de ventilação permanente por aberturas grandes (a partir de 40% da área útil). O termo “ventilação seletiva” significa limitar a ventilação aos momentos em que a temperatura externa esteja inferior à temperatura interna.

Foi necessário definir uma área de abertura “pequena” (P) e uma área “grande” (G), nos termos da norma NBR 15220-3 [1]. A área de abertura “P” equivalia a 15% da área útil do ambiente e a área de abertura “G” equivalia a 42% da área útil. Essas áreas de abertura foram distribuídas como duas aberturas iguais, localizadas em fachadas diferentes de cada cômodo de permanência prolongada (sala e dormitórios), para promover ventilação cruzada. Esta é recomendada pela NBR 15220-3 [1] e aceita como bonificação pelo RTQ-R [18]. A distribuição das aberturas pode ser vista na Figura 3.

Figura 3: Dimensões e distribuição das aberturas nos modelos.



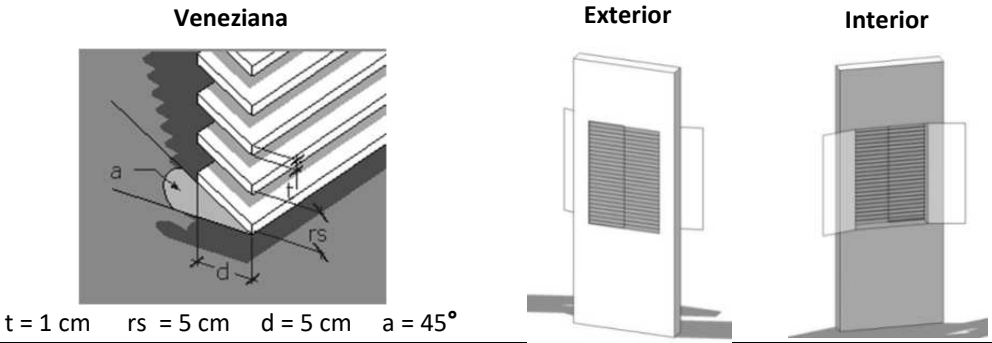
Duas aberturas “pequenas” na ZB7 de 0,7m x 1m, 1m de peitoril, total de 15% A.U.*	Duas aberturas “grandes” na ZB8 de 1,4m x 1,4m, 1m de peitoril, total de 42% A.U.*

* A.U. (Areá útil do recinto ou área do piso).

Fonte: Os autores a partir de imagens do *plugin Euclid* 0.9.3 [26].

As aberturas também precisavam estar permanentemente sombreadas. Para atender as diretrizes de sombreamento, a definição das aberturas usou uma camada externa de venezianas. As dimensões das venezianas podem ser vistas na Figura 4. O efeito das venezianas na redução da velocidade do ar não foi considerado nas análises.

Figura 4: Sistema de janela com camada de fechamento interna e externa.



t = 1 cm rs = 5 cm d = 5 cm a = 45°

Fonte: Os autores.

SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Simulações com a ferramenta *EnergyPlus* v. 8.7 [31], com suporte do *plugin Euclid* 0.9.3 [26], geraram os dados de temperatura operativa interna, umidade relativa do ar interno, a partir dos arquivos climáticos da base de dados INMET 2018 [22]. Esses

dados possibilitaram quantificar o percentual do ano em conforto e a frequência e intensidade do desconforto por calor e frio, em graus-hora ao ano.

As simulações com *EnergyPlus* usaram padrões de ocupação, taxa metabólica dos usuários, rotina de uso de iluminação elétrica, cargas internas, taxa de infiltração de ar e operação de portas, conforme o método de simulação do projeto de emenda à NBR15575-Desempenho [3]. Assim, de acordo com essa referência, o modelo seria ocupado por duas pessoas em cada dormitório, num total de quatro moradores. As portas externas deveriam ser mantidas permanentemente fechadas e as postas internas permanentemente abertas, com exceção da porta do banheiro.

As venezianas foram modeladas com o objeto *WindowMaterial:Blind* [32]. As trocas de calor entre o modelo e o solo foram modeladas com o objeto *Ground Domain: Slab* [23]. As taxas de ventilação foram simuladas com o objeto *AirflowNetwork* [27]. Os coeficientes de pressão foram calculados no modo *Surface Average Calculation*. No entanto, os modelos precisaram ser simplificados adotando a forma de paralelepípedo (ortogonal, sem reentrâncias ou saliências, como mostrado na Figura 3), para não comprometer o nível de confiança dos resultados [16] [27].

Simulações computacionais com a ferramenta *Ansys CFX,* integrante do *Workbench* 2021 R1 [21] [6], geraram dados de velocidade do ar no interior. Esses dados possibilitaram estimar a velocidade média horária do ar interno, para quantificar a contribuição efetiva da velocidade do ar no percentual do ano em conforto.

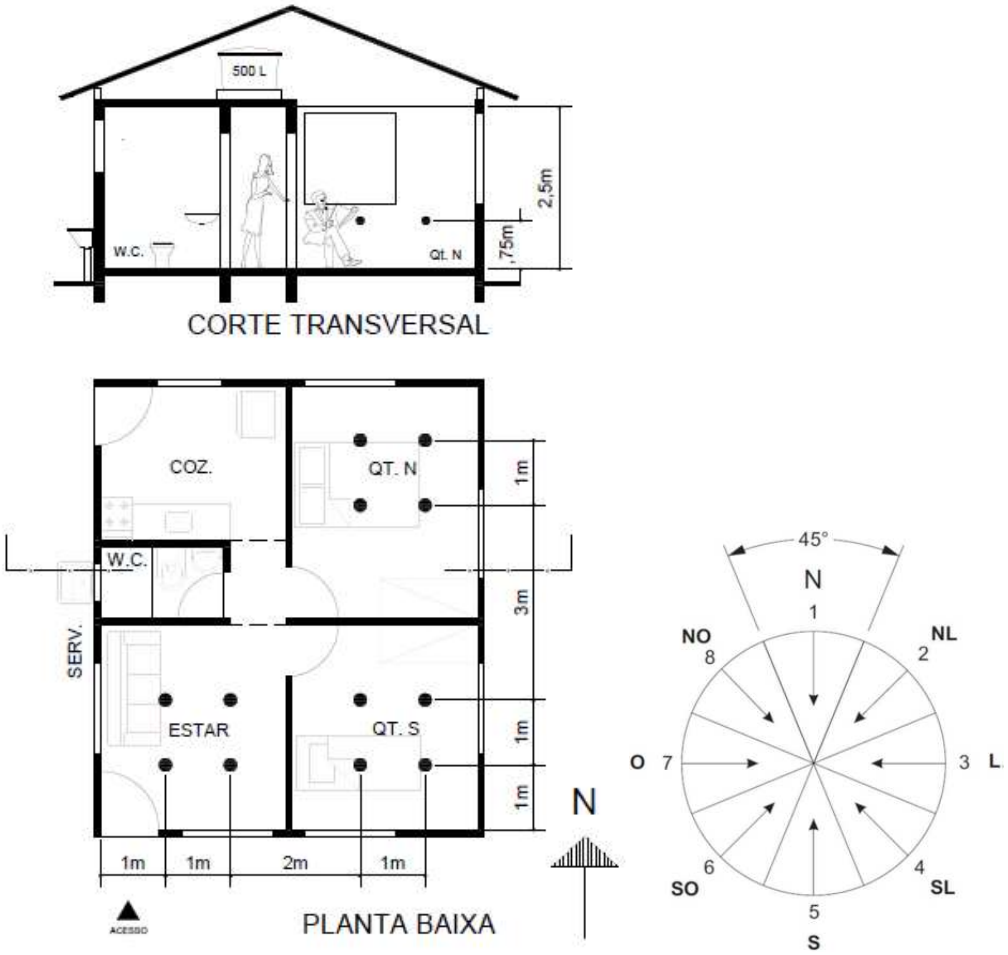
A estimativa da velocidade do ar interno nas 8760 horas do ano usou método proposto por Araújo e Bittencourt [7], que faz uso de coeficientes médios de ventilação e dados de direção e velocidade do vento. Coeficiente de ventilação médio é definido como a razão entre a velocidade média do ar no interior e a velocidade simultânea do vento na altura das aberturas. Eles são específicos para uma dada direção do vento e geometria de edifício [34]. Araújo e Bittencourt [7] demonstraram que coeficientes de ventilação médios podem ser considerados invariáveis em função da velocidade do vento, no intervalo entre 1 m/s e 5 m/s e com precisão de um décimo. Por isso, as simulações de velocidades do ar adotaram apenas a velocidade de 1 m/s como dado de entrada.

As simulações ocorreram para as oito direções da rosa dos ventos, como mostrado na Figura 5. Os valores correspondem a uma malha de quatro pontos em cada cômodo de permanência prolongada (sala e dormitórios). Os pontos foram espaçados como apresentado na Figura 5. A malha de pontos foi localizada a 0,75 m do piso, para representar a corrente de ar incidindo sobre moradores sentados ou deitados, como previsto para sala de estar e dormitório.

A Figura 6 apresenta diferentes aspectos do domínio fluido nas simulações. O sólido do domínio tinha forma prismática de base octogonal, proporcional a um círculo inscrito de 26 m de raio (10x a altura do modelo) e com 13 m de altura (5x a altura do modelo). Essas dimensões não afetaram o fluxo de ar, devido à configuração dos limites do domínio, que foram configurados como *Opening* (face aberta ao vento), com exceção das faces que representam o terreno e as superfícies do modelo. Estas foram configuradas como *Wall*, *no slip* (face sólida, com atrito ao vento). O domínio foi preenchido com uma malha tetraédrica gerada pelo método *Patch Conforming*, com no máximo 512.000 nós. O número de interações máximo nas simulações foi

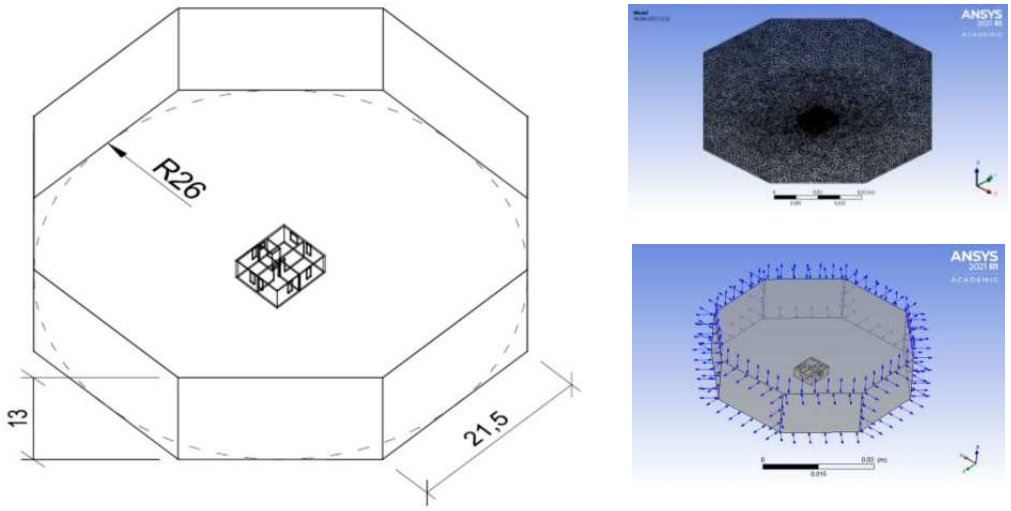
sempre definido como igual ou maior que 100, conforme a necessidade da convergência. O critério de convergência considerado foi resíduo de tamanho máximo 10^{-4}. As demais opções usaram o padrão do programa *Ansys CFX* [6].

Figura 5: Dimensões da malha de pontos e direções usada nas simulações de velocidade do ar nos modelos.



Fonte: Os autores.

Figura 6: Formato e dimensões do domínio fluido, à esquerda. Malha no domínio à direita e acima. Limites do domínio, à direita e abaixo.



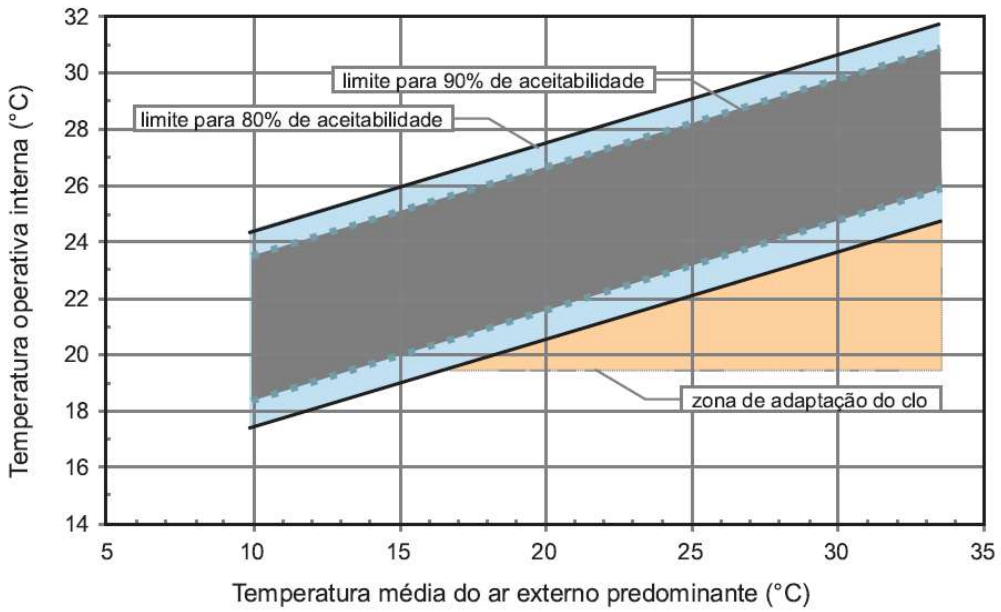
Fonte: Os autores a partir de imagens geradas no *Ansys CFX* [6].

As velocidades do vento nos arquivos climáticos são relativas a 10 m de altura. O atrito devido à rugosidade do terreno provoca redução gradual dessas velocidades, em função da altura. Assim, as velocidades contidas no arquivo climático precisaram ser corrigidas para a altura das aberturas nos modelos (1,5 m), usando método do gradiente de vento [10] e considerando rugosidade de área urbana central, como recomenda no método de simulação da NBR15575 [3].

AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

O desempenho nos cômodos de permanência prolongada (sala e dormitórios) dos modelos foi avaliado com base nos parâmetros: percentual do ano em conforto e graus-hora-ano de desconforto por calor e frio. A análise dos dados dos três ambientes permitiu avaliar o efeito das diferentes orientações sobre o conforto. O critério de conforto usado na avaliação foi a zona de conforto adaptativo da norma *ANSI/ASHRAE Standard 55* [5], para 80% de aceitabilidade térmica, como consta no projeto de revisão da NBR 16401-2 [4] e consta na Figura 7. No presente trabalho, essa zona de conforto adotou ainda correção proposta por Nicol [25], como aplicado anteriormente em Araújo [8], que determina a redução de 1°C no limite superior da zona de conforto adaptativo, em condições de umidade relativa acima de 75%. Essa correção visa compensar limitações identificadas nessa zona de conforto quanto à condição quente e úmida [14] [25] [29].

Figura 7: Faixa de temperatura operativa aceitável para ambientes naturalmente ventilados.



Fonte: Projeto de revisão da NBR 16401-2 [4].

AVALIAÇÃO DA VENTILAÇÃO PARA RESFRIAMENTO

A velocidade do ar no interior do edifício é uma variável inconstante, que depende da geometria do edifício, da velocidade e direção do vento. A zona de conforto da norma *ANSI/ASHRAE Standard 55* [5] considera a influência dessa variável por meio

de três intervalos de velocidade, que causam respectivamente três níveis de expansão do limite superior da zona de conforto. Isso permite estimar com menor incerteza a contribuição efetiva da velocidade do ar na frequência de conforto térmico, mesmo com suas variações. A Tabela 4 mostra a expansão do limite superior da zona de conforto, iniciando em 1,2°C, a partir de 0,3 m/s de velocidade do ar, e podendo chegar a 2,2°C com velocidades de até 1,2 m/s.

Tabela 4: Expansão do limite superior da faixa de temperatura operativa aceitável em função da velocidade média do ar, em ambientes naturalmente ventilados.

Velocidade média do ar > 0,3 e ≤ 0,6 m/s	Velocidade média do ar > 0,6 e ≤ 0,9 m/s	Velocidade média do ar > 0,9 e ≤ 1,2 m/s
1,2°C	1,8°C	2,2°C

Fonte: Projeto de revisão da NBR 16401-2 [4].

O potencial de conforto por velocidade do ar foi quantificado usando como parâmetro o percentual do ano na condição onde o conforto poderia ser alcançado a partir de uma expansão de 2,2°C no limite superior da zona de conforto. A contribuição efetiva da ventilação natural para o conforto por velocidade do ar foi considerada como o percentual do ano em que a ventilação natural foi efetiva em prover velocidade do ar suficiente para promover o conforto pela expansão de até 2,2°C no limite superior da zona de conforto.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os resultados da análise mostraram que não houve desconforto por frio na amostra, com exceção do ocorrido no município de Mossoró-RN, que chegou a 456°C-hora de frio ao ano no dormitório norte. Esse município teve também o menor desconforto por calor, 42°C-hora ao ano no dormitório sul, contra 367°C-hora ao ano de frio. O maior desconforto por calor ocorreu em São João do Piauí-PI, chegando a 4.691°C-hora ao ano, no dormitório norte. A Figura 8 apresenta o conjunto dos dados de desconforto.

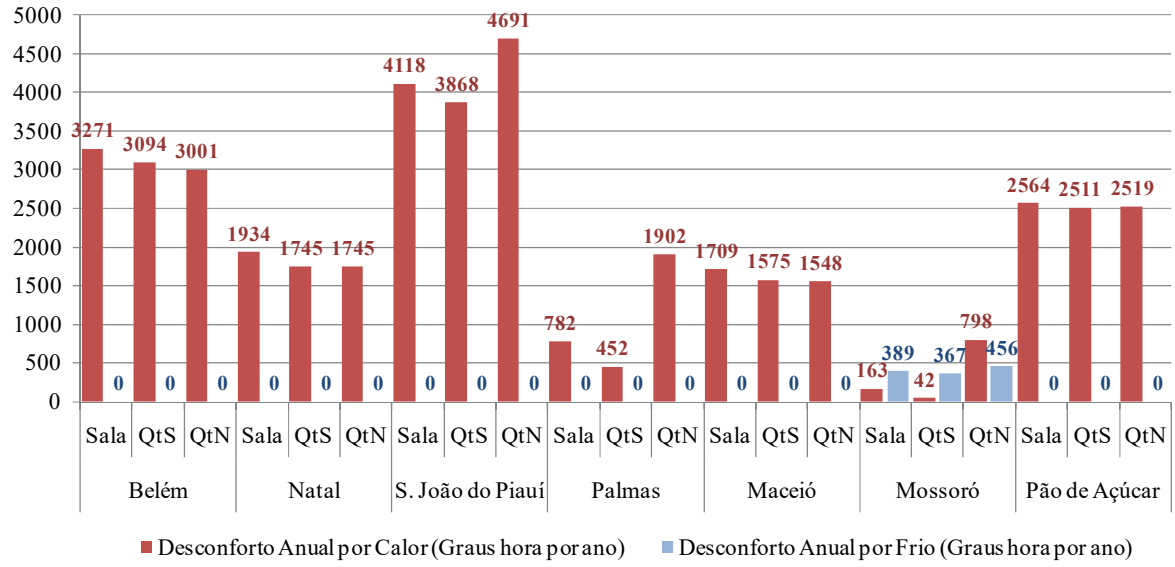
O conforto foi superior a 50% em toda a amostra, com exceção apenas do ocorrido no dormitório norte, no município de São João do Piauí-PI, com 46% do ano em conforto. O município de Mossoró-RN chegou a 95% do ano em conforto no dormitório sul.

O potencial anual de conforto por velocidade do ar foi proporcional ao desconforto por calor, sendo menor em Mossoró-RN (chegando a 0,5%) e maior em São João do Piauí-PI (chegando a 41%) e Belém-PA (chegando a 28%), a despeito das diferenças de umidade entre esses climas. O máximo de 100% do ano em conforto foi alcançado apenas em Natal-RN e Palmas-TO, mas desde que o potencial de conforto por velocidade do ar fosse completamente explorado. O conjunto dos dados de conforto pode ser visto na Figura 9.

O aproveitamento total desse potencial depende das velocidades médias do ar interno, que dependem das frequências de velocidade e direção do vento ao longo do ano e do coeficiente de ventilação médio nos ambientes. Os dados simulados de

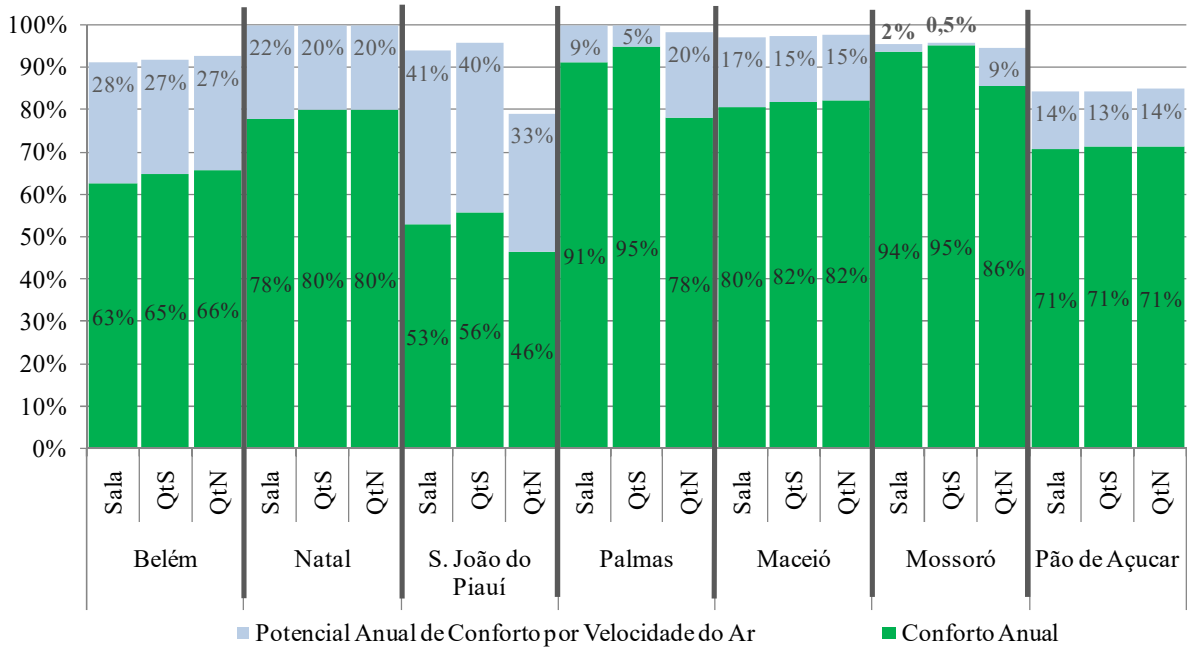
velocidade do ar mostraram valores relativamente baixos. O valor médio para abertura pequena “P” (ZB7) variou de 0,01 a 0,04, com valor máximo de 0,15. O valor médio para abertura grande “G” (ZB8) variou entre 0,03 e 0,09, com valor máximo de 0,13. O conjunto dos coeficientes mínimos, médios e máximos é apresentado na Figura 10.

Figura 8: Graus-hora-ano de desconforto por calor e frio.



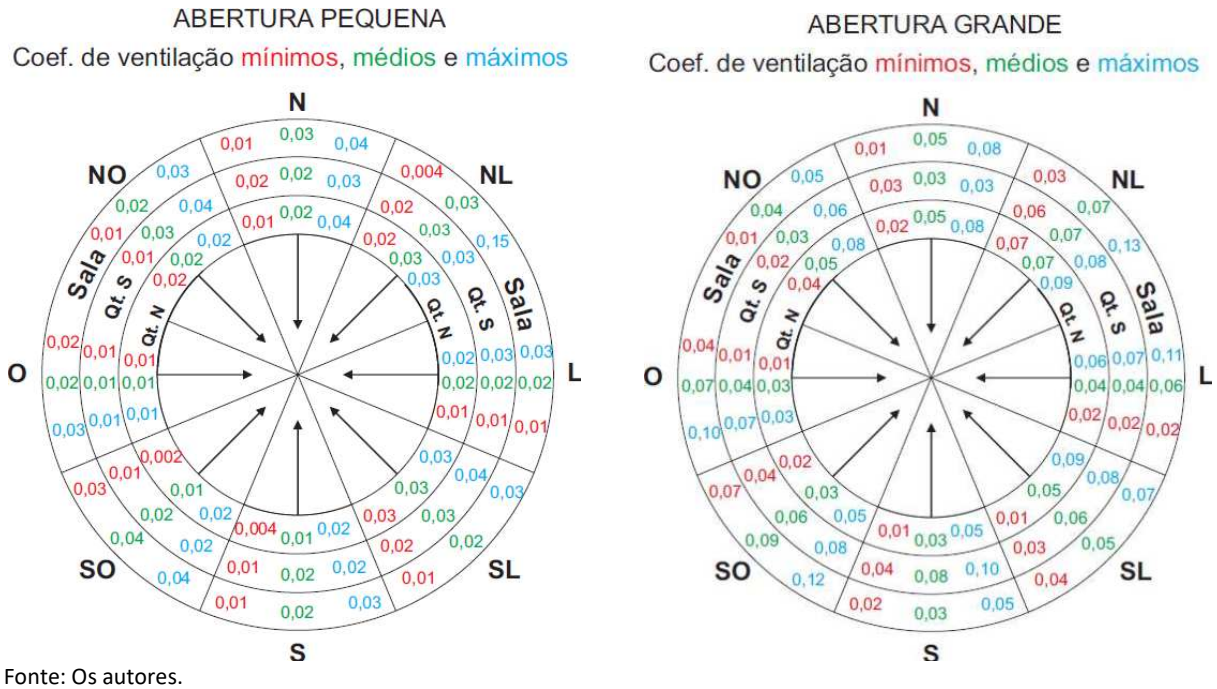
Fonte: Os autores

Figura 9: Percentual do ano em conforto térmico, acrescido do percentual do ano com possibilidade de obtenção de conforto considerando a velocidade do ar.



Fonte: Os autores

Figura 10: Coeficientes de ventilação mínimos, médios e máximos, para abertura pequena e grande.



Fonte: Os autores.

Nos modelos do estudo, o fluxo de ar tornava-se ascendente ao passar pelas aberturas a barlavento e as maiores velocidades se concentravam na porção superior do recinto, mais distante da malha de pontos. A diferença de altura entre a malha de pontos e o peitoril das janelas também contribuiu para que as velocidades do ar na mesma fossem consideravelmente baixas, reduzindo sua média e o valor dos coeficientes de ventilação. Além de perdas de velocidade provocadas por coeficiente de descarga das aberturas, mudanças de direção e vórtices no fluxo de ar.

A estimativa da velocidade média do ar interno a partir de coeficientes de ventilação médios mostrou que ocorreram apenas velocidades abaixo de 0,3 m/s. Isso significa uma contribuição nula da ventilação natural para o resfriamento fisiológico, uma vez que o modelo preditivo de conforto da *ANSI/ASHRAE Standard 55* [5] desconsidera o resfriamento por velocidades abaixo de 0,3 m/s. Assim, as velocidades do vento na altura das aberturas mostraram-se insuficientes para expandir o limite superior da zona de conforto nos modelos da pesquisa.

Aumentar a contribuição efetiva da ventilação natural no percentual anual de conforto por meio de uma maior área de abertura levanta algumas questões de projeto. Segundo Triana, Lamberts e Sassi [30], a área de abertura em HIS unifamiliar varia entre 12% e 29% da área útil dos cômodos (A.U.). As aberturas grandes na ZB8 (>40% A.U.) estão consideravelmente acima desse intervalo. Aumentar essas aberturas ainda mais é algo que se distanciaria consideravelmente do padrão construtivo corrente nessa tipologia de edifício. Por outro lado, aumentar as aberturas pequenas “P” na ZB7 (15% A.U.) elevaria as taxas de ventilação, mas também alteraria o balanço térmico e o desempenho do edifício. Um dos resultados possíveis seria o aumento de ganhos por convecção e do desconforto, apesar das velocidades médias mais elevadas. Ainda assim, o uso suplementar de ventiladores poderia prover uma velocidade contínua de 1,2 m/s, tendo como efeito a sensação térmica do usuário de menos 2,2°C, sem afetar o balanço térmico do edifício e

garantindo o aproveitamento total do potencial da velocidade do ar no incremento do conforto. Esses equipamentos já constam entre as bonificações do RTQ-R [18] para avaliação de eficiência energética em unidades autônomas, devido a seu baixo consumo em relação ao resfriamento artificial.

O conjunto dos resultados mostrou que estimar a eficácia da ventilação natural com base apenas em área de abertura e rotina de ventilação, como ocorre nas normas brasileiras, apresenta uma incerteza considerável, pois o potencial anual para conforto com velocidade do ar mostrou-se fortemente associado ao desconforto por calor e seu aproveitamento está fortemente associado aos ventos locais e aos coeficientes de ventilação no ambiente. Espera-se que essas conclusões contribuam para o aperfeiçoamento de diretrizes construtivas que visam uma melhor adaptação do edifício ao clima e o melhor suporte dos métodos prescritivos ao projeto conceitual de arquitetos.

REFERÊNCIAS

[1] ABNT, 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. Rio de Janeiro, 2005.

[2] _____. **ABNT NBR 15575**. Edifícios habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

[3] _____. **ABNT CB 002 NBR 15575**-Projeto de emenda: EMENDA 1. Rio de Janeiro, 2021.

[4] _____. **Projeto revisão ABNT NBR 16401-2**. Instalações de ar-condicionado - sistemas centrais e unitários: parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, 2022.

[5] ANSI; ASHRAE, American National Standards Institute; American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Standard 55**. Thermal environmental conditions for human occupancy Atlanta, 2017.

[6] ANSYS. **Ansys Workbench-Academic Student 2019 R3**. 2019. Disponível em https://www.ansys.com/academic/students/ansys-student Acesso em: jun, 2019.

[7] ARAÚJO, I. A. L; BITTENCOURT, L. S. Uso de coeficientes de ventilação médios na previsão da velocidade média horária do ar interno. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, XVI ENCAC, XII ELACAC, 2021, Palmas. **Anais**: Palmas, ANTAC, 2021.

[8] ARAÚJO, I. A. L. **Eficácia de diretrizes construtivas para HIS unifamiliar no Brasil com base no conceito de conforto adaptativo**. (2021). 227 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Programa Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas - UFAL, Maceió, 2021.

[9] BAVARESCO, M. V. et al. **Classificação de climas brasileiros empregada na atualização dos Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações**. CB3E Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis. 2017. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/Relatorio_GruposClimaticos.pdf Acesso em: nov, 2020.

[10] BRE. Principles of natural ventilation. **BRE Digest**, n. 210, 1978.

[11] CB3E, Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. **INI-R**, Instrução normativa INMETRO para caracterização de eficiência energética de edificações residenciais. CB3E. Florianópolis. 2020. Disponível em: https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Novo%20m%C3%A9todo%20avalia%C3%A7%C3

%A3o%20da%20efici%C3%AAncia%20energ%C3%A9tica%20de%20edifica%C3%A7%C3%B5es%20residenciais_0.pdf. Acesso em: fev, 2022.

[12] CEF, Caixa Econômica Federal GIDUR-VT. **Cadernos CAIXA** - projeto padrão - casas populares - 42m². Vitória: CEF, 2007.

[13] DORNELES, Kelen A. **Biblioteca de absortância de telhas**: base de dados para análise de desempenho termoenergético de edifícios. São Carlos: IAU/USP, 2021. 57 p.

[14] FERREIRA, C. C.; SOUZA, H. A. D. Avaliação da aplicabilidade de índices de conforto adaptativo para o caso brasileiro. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, XII ENCAC, VIII ELACAC, 2013, Brasília. **Anais**: Brasília ANTAC, 2013.

[15] GIVONI, B. Confort climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 12, 1992.

[16] GU, L. Airflow Network modeling in Energyplus In: International Building Performance Simulation Associantion Conference, IBPSA, Beijing. **Proceedings**: Beiing, IBPSA, 2007. p.964-971.

[17] INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil**: Intensidade do vento NCB 1981-2010, 2018. Disponível em https://portal.inmet.gov.br/normais/ Acesso em: mar, 2020.

[18] INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **RTQ-R**: Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQR.pdf Acesso em: nov, 2020.

[19] _____. **Anexo da portaria INMETRO N°50**: Catálogo de propriedades térmicas, paredes, coberturas e vidros. 2013. In: PBE Edifica (2020), Portaria Nº 50, de 01 de fevereiro de 2013. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/planilhas-catalogos. Acesso em: nov, 2020.

[20] _____. **Instrução Normativa Inmetro (INI-C)**, que aperfeiçoa os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Portaria Nº 42, de 24 de fevereiro de 2021. Disponível em: http://http://www.pbeedifica.com.br/inic Acesso em: jun, 2021.

[21] KOHNKE, P. **ANSYS Theory reference**: release 5.6. 11 ed. Canonsburg: ANSYS Incorporated, 1999.

[22] LABEEE, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Arquivos climáticos INMET 2018**. 2021. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivosclimaticos/inmet2018r/ Acesso em: jan, 2021.

[23] MAZZAFERRO, L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto Ground Domain no program Energyplus**. Florianópolis: LabEEE, 2015. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/Manual_GroundDomain_E+versao9.0.pdf Acesso em: jan, 2020.

[24] MMA, Ministério do Meio Ambiente; LABEEE, Laboratório de Eficiência Energética na Edificação. **Projeteee**, 2021. Disponível em: http://www.mme.gov.br/projeteee Acesso em: mar, 2021.

[25] NICOL, F. Adaptive thermal confort standards in the hot-humid tropics. **Energy and Buildings**, v. 36, 2004.

[26] NREL, National Renewable Energy Laboratory; BIG LADDER, Software LLC. **Euclid 0.9.4.3**. 2020. Disponível em: https://bigladdersoftware.com/projects/euclid Acesso em: jan, 2019.

[27] PEREIRA, H. A. D. C. et al. **Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa Energyplus** - versão 8.0. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações LABEEE, 2013. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Manual_Ventilacao_v8_0.pdf Acesso em: jan, 2019.

[28] RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil** – versão 3.0. ANTAC. São Carlos: 2014. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/Climas_v3.pdf. Acesso em: nov, 2020.

[29] TOE, D. H. C.; KUBOTA, T. Development of an adaptive thermal comfort equation for naturally ventilated buildings in hot-humid climates using ASHRAE RP-884 database. **Frontiers of Architectural Research**, v. 2, 2013.

[30] TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, v. 87, 2015.

[31] U.S.DOE, Departmento de Energia dos Estados Unidos. EnergyPlus. 2016. disponível em: https://energyplus.net/downloads//. acesso em: jan, 2019.

[32] _____. **Getting started**: University of Illinois, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2018. (EnergyPlus version 8.9.0 documentation). Disponível em: https://energyplus.net/documentation. Acesso em: jan, 2019.

[33] WEBER, F. D. S. et al. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. LABEEE / UFSC. Florianópolis. 2017. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/Biblioteca_ComponentesConstrutivos_0.pdf. Acesso em: jan, 2020.

[34] GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design** Climate considerations in building and urban design. New York: John Wiley & Sons, 1998.