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 NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERNO EM CLIMAS BRASILEIROS

EFFECTIVENESS OF NATURAL VENTILATION IN MAINTENANCE OF INDOOR AIR QUALITY IN 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 qualidade do ar interno está relacionada às taxas de renovação da ventilação, que dependem da geometria do edifício, das velocidades e direções do vento. Mas diretrizes construtivas para conforto passivo no Brasil enfocam área de abertura e rotina de ventilação, sem mencionar os ventos locais. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficácia da ventilação natural em manter a qualidade do ar ao longo do ano, em climas brasileiros. O método comparou a ventilação higiênica em modelos de habitação unifamiliar, a partir de simulações com EnergyPlus. Os resultados indicam a maior eficácia de ventilação natural higiênica permanente, apesar da necessidade de ventilação mecânica suplementar.

Palavras-chave: Qualidade do ar interno. Ventilação natural. Diretrizes construtivas.

Abstract
Indoor air quality is related to air change rates and depends on building geometry, wind speed, and direction. But constructive guidelines for passive comfort in Brazil focus only on the opening area and ventilation schedule, not local wind patterns. This paper aims to evaluate the effectiveness of natural ventilation in maintaining air quality throughout the year, considering Brazilian climates. The method compared ventilation on single-family housing models with EnergyPlus as a simulation tool. Results indicate more effectiveness of continuous hygienic natural ventilation, despite a demand for additional mechanical ventilation.

Keywords: Indoor air quality. Natural ventilation. Design guidelines.

Como citar:
ARAÚJO, Iuri Ávila L. de; BITTENCOURT, Leonardo S. Eficácia da ventilação natural na manutenção da qualidade do ar interno em climas brasileiros. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO,19. ENTAC 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-14.

INTRODUÇÃO

Atividades humanas alteram a qualidade do ar no interior do edifício, podendo torná-la inadequada. A ventilação natural tem também função higiênica, pois certo número de renovações de ar nos ambientes é necessário para a saúde e o conforto dos ocupantes [16]. Quando as trocas de calor por ventilação natural não contribuem para um balanço favorável ao conforto térmico, permanece a contribuição da taxa de renovação para a manutenção da qualidade do ar interno. A disseminação da COVID-19 a partir de 2019, renovou o interesse de pesquisadores sobre taxas de renovação de ar, diante do potencial da ventilação para reduzir o risco de transmissão em espaços climatizados [17].

Diretrizes construtivas são recomendações de projeto que, se adequadas, podem conduzir à aplicação eficaz de estratégias de conforto passivo. A norma NBR 15220-3 [1] definiu o zoneamento bioclimático brasileiro e propôs estratégias e diretrizes sobre área de aberturas, rotina de ventilação e sombreamento. As rotinas de ventilação eram representadas na norma pela recomendação de não adotar a estratégia de ventilação ou de apenas adotá-la no período primavera-verão em algumas zonas. Assim, essas recomendações induziam à suspensão da ventilação no outono-inverno. A suspensão da ventilação também era induzida pela recomendação de ventilação seletiva, limitando-a aos momentos com temperatura interna superior à externa. Essa suspensão da ventilação não mencionava possíveis consequências para a qualidade do ar interno.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) submeteu à consulta pública o projeto de emenda da NBR 15575, Edificações Habitacionais, Desempenho [2] [3], propondo mudanças no método de avaliação por simulação computacional [26]. Nessa proposta, a suspensão da ventilação deve obedecer a critério de temperatura, sendo suspensa quando ocorrer temperatura interna inferior à externa (ventilação seletiva) ou quando esta ficar igual ou abaixo de 19°C [3]. Nessa proposta de revisão, ainda não há menção sobre possíveis efeitos da suspensão da ventilação na qualidade do ar. A ABNT também colocou em consulta pública projeto de revisão da NBR 16401-3, Instalações de Ar-Condicionado, Sistemas Centrais e Unitários, Parte 3, Qualidade do ar interior [4]. O escopo desse projeto de revisão abrange apenas à ventilação mecânica em edifícios não residenciais, não oferecendo requisitos para avaliar a qualidade do ar interno em espaços domésticos e naturalmente ventilados.

A estimativa da eficácia da ventilação natural higiênica com base apenas em área das aberturas e rotina de ventilação apresenta um grau de incerteza elevado, pois as taxas de renovação do ar interno dependem também das frequências anuais de velocidade e direção do vento. As diretrizes atuais não consideram essas variáveis climáticas e podem estar conduzindo à ineficácia da ventilação natural na manutenção da qualidade do ar, o que geraria ambientes insalubres e uma demanda imprevista por ventilação mecânica higiênica.

OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficácia da ventilação natural na manutenção da qualidade do ar ao longo do ano, em climas brasileiros, considerando a tipologia habitação de interesse social (HIS) unifamiliar, além de diretrizes da NBR 15220-3 e da NBR 15575-4.

MÉTODO

O presente trabalho consistiu em uma análise comparativa do desempenho de modelos, com base em dados gerados por simulações com a ferramenta *EnergyPlus*. A análise dos dados comparou percentual do ano com taxa de renovação abaixo da mínima, segundo a norma norte-americana *ANSI/ASHRAE Standard 62-2* [5].

AMOSTRA DE CLIMAS

Um procedimento de amostragem aleatória estratificada selecionou cinco arquivos climáticos de municípios brasileiros em formato "*epw*" da base INMET 2018 [15], buscando climas que representassem zonas com diferentes recomendações de rotina de ventilação, pelos termos da NBR 15220-3 [1]. Assim, os municípios selecionados representavam a ZB1, onde não se aplica a estratégia ventilação, a ZB3 onde esta se aplica apenas na primavera-verão, a ZB6 que aplica ventilação seletiva apenas na primavera-verão, a ZB7 que adota ventilação seletiva o ano inteiro e a ZB8 onde se aplica ventilação permanente. A seleção fez uso de listas de municípios classificados por zona e grupo climático, em anexo na instrução normativa INI-C, da Portaria Inmetro N° 42 [14]. A Tabela 1 apresenta os cinco municípios selecionados, sua zona bioclimática (ZB) e seu grupo climático (G) [22] [6].

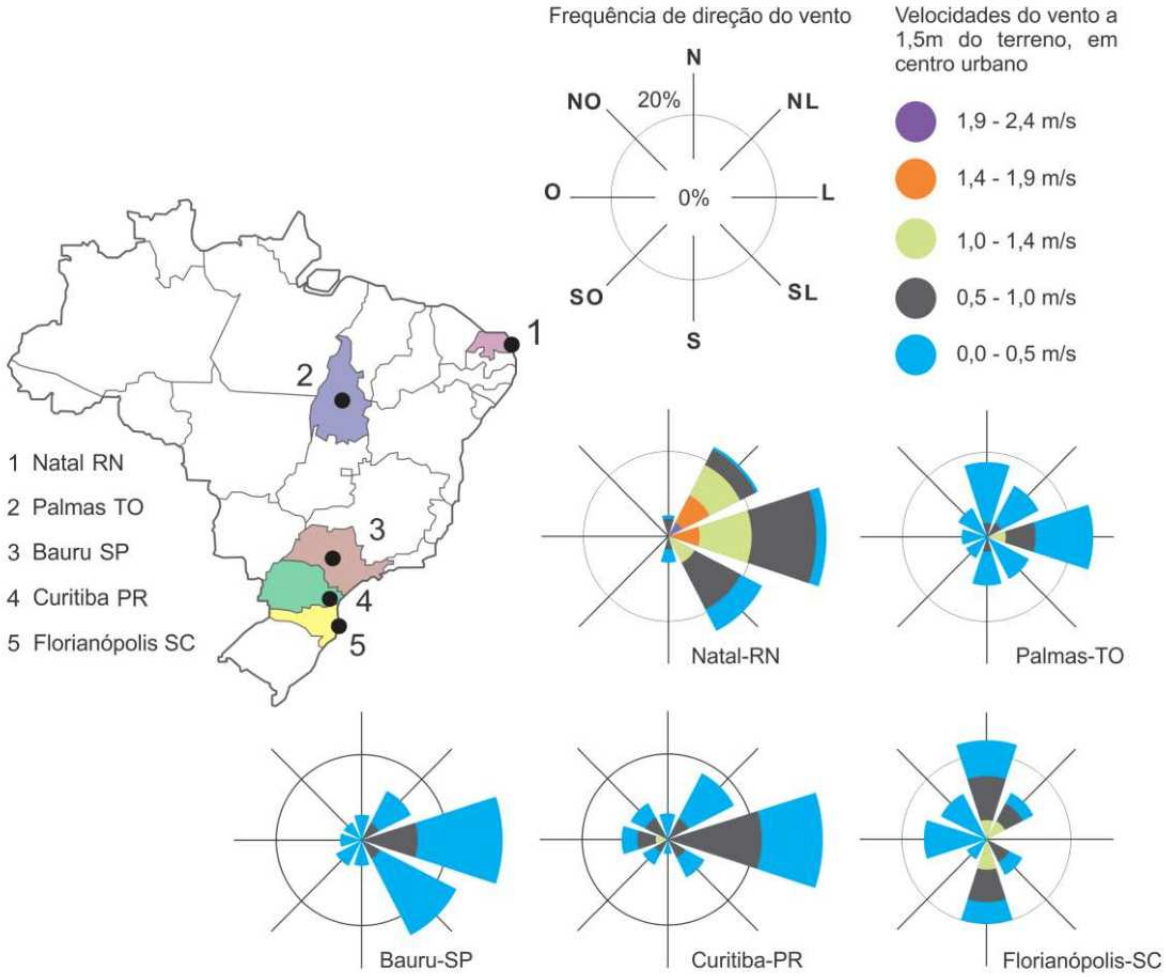
Tabela 1: Amostra de climas selecionada, indicando zona bioclimática (ZB) e grupo climático (G).

Cidade– UF	ZB	G	Lat.	Long.	Alt.	Arquivo climático (INMET 2018-LABEEE)
Florianópolis-SC	ZB3	G1b	28 S	49 O	6 m	BRA_SC_Florianopolis-Luz.Intl.AP.838990_TMYx.2003-2017
Curitiba-PR	ZB1	G2	26 S	49 O	924 m	BRA_PR_Curitiba-Pena.Intl.AP.838400_TMYx.2003-2017
Bauru-SP	ZB6	G12	22 S	49 O	617 m	BRA_SP_Bauru.AP.837220_TMYx
Natal-RN	ZB8	G18	6 S	35 O	51 m	BRA_RN_Natal.Intl.AP.825990_TMYx.2003-2017
Palmas-TO	ZB7	G20	10 S	48 O	280 m	BRA_TO_Palmas-Rodrigues.AP.830650_TMYx.2003-2017

Fonte: Os autores, a partir de dados INMET 2018 [15].

A Figura 1 apresenta dados de vento dos municípios da amostra. As velocidades foram corrigidas pelo método do gradiente [7], considerando 1,5m de altura e coeficiente de rugosidade para centro urbano. As maiores frequências correspondem às direções Nordeste, Leste e Sudeste, com exceção de Florianópolis-SC, onde predomina as direções Norte e Sul. As maiores frequências ocorrem nas velocidades até 1 m/s, com exceção para Natal-RN que apresenta 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 [19], a partir de dados da base INMET 2016.

A Tabela 2 mostra as médias e máximas anuais de velocidade de vento e frequências anuais de calmarias nos municípios da amostra. As velocidades foram corrigidas pelo método do gradiente de vento [7], considerando 1,5m de altura e coeficiente de rugosidade para centro urbano. As velocidades médias variam de 0,5 m/s, em Palmas-TO, a 1 m/s em Natal-RN e Bauru-SP. Embora os valores máximos cheguem a 6,2 m/s (em Natal-RN) e períodos de calmaria ocorram em até 8,5% do ano (em Palmas-TO). A média anual dos municípios brasileiros nas mesmas condições 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 [10].

Tabela 2: Dados de vento da amostra de municípios, a 1,5m de altura e com rugosidade de centro urbano [27].

Município-UF	Velocidade média anual a 1,5 m	Velocidade máxima anual a 1,5 m	Frequência anual de calmarias (< 0,5 m/s)
Florianópolis-SC	0,8 m/s	4,9 m/s	6,0%
Curitiba-PR	0,8 m/s	3,7 m/s	4,9%
Bauru-SP	1,0 m/s	4,6 m/s	4,4%
Natal-RN	1,0 m/s	6,2 m/s	1,1%
Palmas-TO	0,5 m/s	2,8 m/s	8,5%

Fonte: Os autores, a partir de dados INMET 2018 [15].

DEFINIÇÃO DOS MODELOS

Habitações unifamiliares autônomas representam 85% das moradias urbanas particulares no Brasil e 49,2% dessas moradias pertence à população com renda familiar de até três salários mínimos [23]. A maior parte (35%) de uma amostra de 68 projetos de HIS, concluídos entre 2012 e 2014 no Brasil, eram moradias unifamiliares, com dois dormitórios, área construída variando entre 38 m² e 55 m² [23]. O modelo base adotado para representar a tipologia HIS unifamiliar no presente estudo foi uma proposição da Caixa Econômica Federal [8] 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.



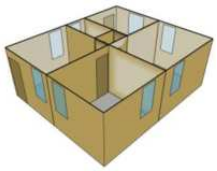
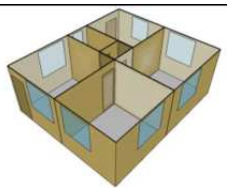
PORTAS	
P1	0,8 m x 2,1 m
P2	0,7 m x 2,1 m
P3	0,6 m x 2,1 m
JANELAS	
J1	1,4 m x1,4 m / 1 m
J2	1 m x 1,2 m / 1,2 m
J3	0,6 m x 0,8 m / 1,6 m
PÉ DIREITO: 2,5 m	

Fonte: Adaptado de Cadernos CAIXA: projeto padrão – casas populares – 42m² [7].

A definição dos modelos do estudo ocorreu por modificações no modelo base, a fim seguir diretrizes construtivas da norma NBR 15220-3 [1] e da NBR15575-4 [3]. O Quadro 1 sintetiza as modificações realizadas no modelo base, envolvendo apenas área de abertura, rotina de ventilação e sombreamento recomendadas na NBR 15220-3 [1] e gerando os cinco modelos: ZB1, ZB3, ZB6 ZB7 e ZB8. A área de abertura dos cômodos dos modelos foi dividida em duas aberturas iguais, localizadas em fachadas diferentes, para promover ventilação cruzada como recomenda a NBR 15220-3 [1] e incentiva o RTQ-R [12]. Nos períodos em que a ventilação foi suspensa, permaneceu apenas a infiltração de ar externo nos modelos "ZB".

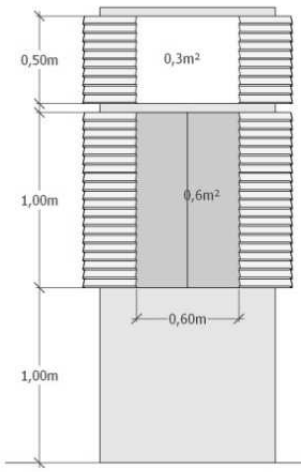
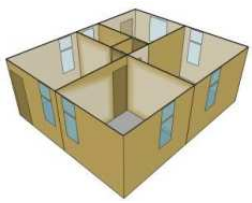
Os cinco modelos "ZB" foram comparados a um sexto modelo, com rotina de ventilação contida na NBR15575-4 [3], onde a ventilação deve ser suspensa quando a temperatura interna for inferior à externa (ventilação seletiva) e quando for inferior ou igual a 19°C. A área de abertura nos cômodos do sexto modelo combinou duas aberturas sobrepostas, como descrito no Quadro 2.

Quadro 1: Área de abertura e rotina de ventilação e sombreamento nos modelos: ZB7, ZB1, ZB3, ZB6 e ZB8.

Área de abertura do modelo			Área de abertura e rotina de ventilação pela NBR 15220-3
PEQUENA		Modelo com duas janelas de 0,7m x 1m, com 1m de peitoril, na sala e nos dormitórios. Área total 15% do piso do cômodo.	**ZB7** - Abertura pequena, entre 10% e 15% do piso, com ventilação seletiva ($T_{int} > T_{ext}$) o ano todo (100%). Sombreamento permanente.
MÉDIA		Modelos com duas janelas de 0,7m x 1,4m, com 1m de peitoril, na sala e nos dormitórios. Área total 22% do piso do cômodo.	**ZB1** - Abertura média, entre 15% e 25% do piso, sem ventilação o ano todo (100%). Sem sombreamento **ZB3** - Abertura média, entre 15% e 25% do piso, com ventilação permanente, no verão (50% do ano). Sombreamento no verão **ZB6** - Abertura média, entre 15% e 25% do piso, com ventilação seletiva, no verão (50% do ano). Sombreamento no verão
GRANDE		Modelos com duas janelas de 1,4m x 1,4m, com 1m de peitoril, na sala e nos dormitórios. Área total de 42% do piso do cômodo.	**ZB8** - Abertura grande, com 40% do piso ou mais, com ventilação permanente (100% do ano). Sombreamento permanente.

Fonte: Os autores, a partir de diretrizes da NBR 15220-3 [1] e de imagens geradas pelo *plugin Euclid* 0.9.3 [20].

Quadro 2: Área de abertura e rotina de ventilação e sombreamento no sexto modelo.

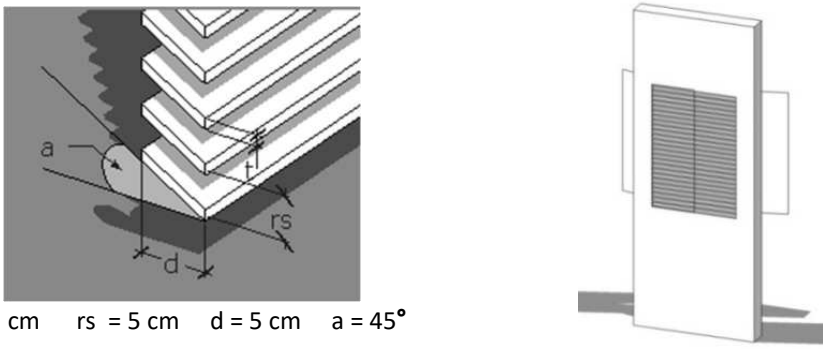
	Área de abertura do modelo	Área de aberturas e rotina de ventilação e sombreamento pela NBR 15575-4
	Modelos com duas janelas por ambiente, na sala e dormitórios. Cada janela formada por duas aberturas sobrepostas: Uma inferior, de 0,6m x 1m e 1m de peitoril, com 0,6 m². As duas janelas (1,2m²) equivalendo a 10% ou 15% da área de piso (abertura pequena); Uma superior de 0,6m x 0,5m e 2m, com 0,3 m². As duas janelas (0,6m²) equivalendo a 6% ou 7% da área de piso (abertura mínima); Área total da janela é de 0,9 m². As duas janelas (1,8 m²) equivalendo a 18% ou 20% da área de piso (abertura média).	Abertura inferior com ventilação seletiva ($T_{int}>T_{ext}$), para temperaturas internas maiores que 19°C, o ano todo. Sombreamento com temperatura externa igual ou acima de 26°C. Abertura superior com ventilação higiênica permanente. Sombreamento com temperatura externa igual ou acima de 26°C.
		

Fonte: Os autores, a partir de diretrizes da NBR 15575-4 [3] e de imagens geradas pelo *plugin Euclid* 0.9.3 [20].

A área das duas aberturas inferiores totaliza 1,2 m², equivalendo a uma abertura "pequena" (de 10% a 15% do piso), nos termos da NBR 152220-3 [1]. A área das duas aberturas superiores totaliza 0,6 m², equivalendo a 6% ou 7% da área do piso, próxima ao limite mínimo recomendado NBR 15575-4 [3]. A área total das aberturas inferiores e superiores somadas corresponderam a 1,8 m², equivalendo a 18% ou 20% da área de piso, sendo uma abertura "média" (de 15% a 25% do piso) nos termos da NBR 15220-3 [1]. As aberturas superiores no sexto modelo foram configuradas como ventilação higiênica permanente, a fim de avaliar o efeito dessa contribuição contínua ao longo do ano para a manutenção da qualidade do ar. Tal solução não consta entre as diretrizes nas atuais normas brasileiras.

As aberturas também precisavam atender às rotinas de sombreamento da NBR 15220-3 e da NBR 15575-4. Para isso, as abertura foram dotadas de uma camada externa de venezianas. As dimensões das venezianas podem ser vistas na Figura 4.

Figura 4: Venezianas das aberturas.

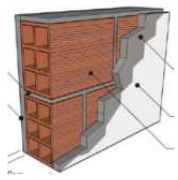


t = 1 cm rs = 5 cm d = 5 cm a = 45°

Fonte: Os autores.

A maioria das moradias unifamiliares de HIS têm paredes de alvenaria rebocada e telhado com forro [23]. Então, as paredes dos modelos usaram o sistema construtivo de número 9 e a coberta usou o sistema construtivo de número 11, do Anexo Geral V do RAC, na Portaria n.º 50 [13], e seu detalhamento se baseou no Anexo A, da Biblioteca de Componentes Construtivos Brasileiros para Uso no Programa *EnergyPlus* [27]. A Tabela 3 apresenta a parede adotada, com 14 cm de espessura, de alvenaria de bloco cerâmico (seis furos, 9 cm, 14 cm, 24cm), revestida com argamassa e pintura de ambos os lados. Sua absortância solar correspondeu à pintura com tinta acrílica fosca, na cor Pérola (n° 14, α = 0,33) [13].

Tabela 3: Propriedades e detalhamento das paredes do modelo de teste.

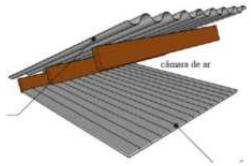


Propriedades		Camadas	Espessura (cm)	Rt (m²°C/W)
U (W/m²K)	2,4	argamassa	2,5	0,02
Fator Solar (%)	3,1	cerâmica	1,3	0,01
Atraso ϕ (h)	3,3	ar	6,3	0,17
Ct (kJ/m²K)	150	cerâmica	1,3	0,01
α solar	0,33	argamassa	2,5	0,02

Fonte: Os autores a partir de dados e imagem do Anexo Geral V do RAC, na Portaria n.º 50 [13].

A Tabela 4 apresenta a cobertura adotada, com telhado de fibrocimento, câmara de ar e forro em PVC. A absortância solar da cobertura foi 0,64, correspondendo ao padrão TFC09 [9].

Tabela 4: Propriedades e detalhamento da coberta do modelo de teste.



Propriedades		Camadas	Espessura (cm)	Rt (m²°C/W)
U (W/m²K)	1,8	fibrocimento	0,8	0,01
Fator Solar (%)	4,5	ar > 5 cm	25	0,20
Atraso ϕ (h)	0,8	PVC	1	0,10
Ct (kJ/m²K)	16,0	-	-	-
α solar	0,64	-	-	-

Fonte: Os autores a partir de dados e imagem do Anexo Geral V do RAC, na Portaria n.º 50 [13].

O piso dos modelos representa 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 [27]. 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.

SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Simulações com a ferramenta *EnergyPlus* v. 8.7 [24], com suporte do *plugin Euclid* 0.9.3 [20], geraram os dados de temperatura operativa interna e taxa de renovação horárias, a partir dos arquivos climáticos da base de dados INMET 2018 [15] e para meio urbano. Esses dados foram necessários para quantificar o percentual do ano com taxa de renovação do ar abaixo da mínima recomendada.

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 contido no 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 portas internas permanentemente abertas, com exceção da porta do banheiro.

As venezianas foram modeladas com o objeto *WindowMaterial:Blind* [25]. As trocas de calor entre o modelo e o solo foram modeladas com o objeto *Ground Domain: Slab* [18], usando temperatura média mensal do solo do arquivo climático. As taxas de ventilação foram simuladas com o objeto *AirflowNetwork* [21]. Os coeficientes de pressão foram calculados no modo *Surface Average Calculation*. No entanto, os modelos precisaram ser simplificados até atingir a forma de paralelepípedo (ortogonal, sem reentrâncias ou saliências, como mostrado na Figura 5), para não comprometer o nível de confiança dos resultados [10] [21].

Figura 5: Modelos usados nas simulações, da esquerda para direita: aberturas grandes (ZB8), aberturas médias (ZB1, ZB3, ZB6 e sexto modelo) e aberturas pequenas (ZB7).



Fonte: Os autores, a partir de imagens geradas pelo plugin Euclid 0.9.3 [20].

AVALIAÇÃO DA VENTILAÇÃO HIGIÊNICA

O desempenho quanto à ventilação higiênica dos cômodos de permanência prolongada (sala e dormitórios) dos modelos usou como parâmetro o percentual do ano com taxa de renovação abaixo da mínima recomendada para garantir qualidade aceitável do ar interno. A determinação desse valor mínimo baseou-se em critério recomendado pela norma norte-americana *ANSY/ASHRAE Standard* 62-2 [5], que define requisitos mínimos para a ventilação prover qualidade aceitável do ar interno em edifícios residenciais unifamiliares. O critério está baseado em vazão da ventilação no ambiente, que deve ser igual ou superior à indicada na Tabela 5.

Tabela 5: Vazões mínimas (L/s) para manter a qualidade do ar em moradias, em função da área construída e do número de dormitórios.

	Número de dormitórios			
Área construída	**1**	**2**	**3**	**4**
< 47 m²	14	18	21	25

Fonte: Adaptado de ANSI/ASHRAE Standard 62-2 [5].

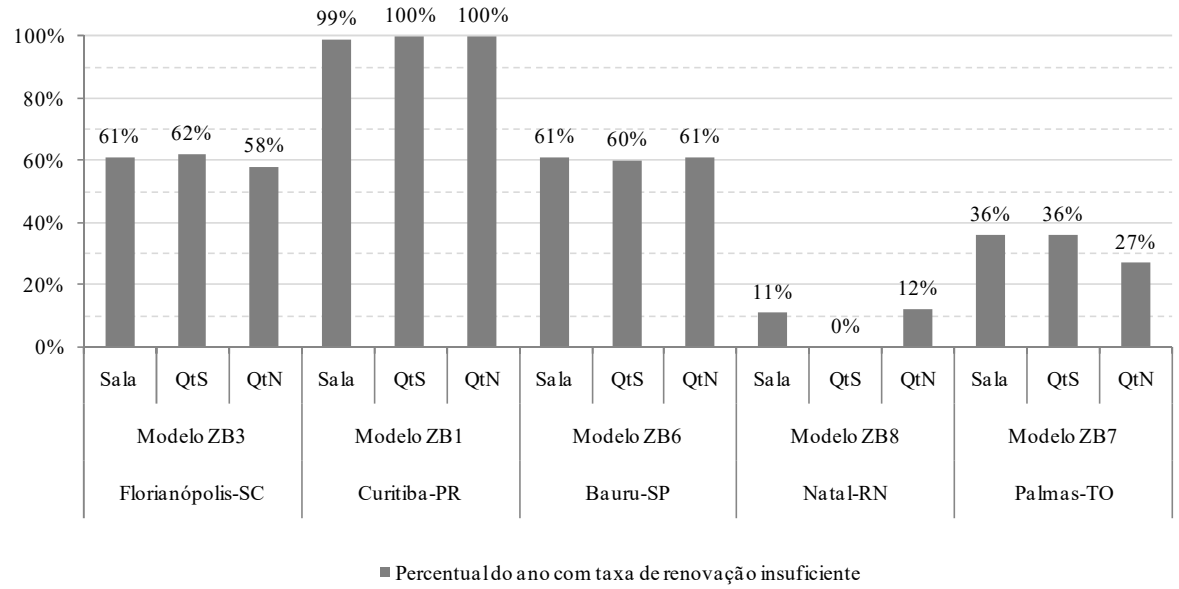
Esse critério considera que unidades com um único dormitório são habitadas por duas pessoas, contabilizando uma pessoa a mais por cada dormitório adicional. Unidades habitacionais com número total de habitantes acima dessa previsão devem contabilizar mais 3,5 L/s por cada pessoa adicional. Então, a vazão mínima deveria ser de 18 L/s para três habitantes, acrescida de 3,5 L/s para um habitante adicional, já que a ocupação prevista dos modelos foi de quatro moradores. Isso conduz a vazão mínima de 21,5 L/s, que corresponde a 77.400 L/h e foi adotada para avaliar os modelos da pesquisa. A sala e o quarto dos modelos orientados para a direção Sul têm 23,6 m³ de volume, correspondendo a 23.600 L de ar. O quarto voltado para o Norte tem 25,45 m³, correspondendo a 25.450 L de ar. Então, a taxa de renovação mínima recomendada para manter a qualidade do ar aceitável equivale a 3,3 renovações por hora, na sala e no quarto voltados para a direção Sul, e a 3,0 renovações por hora no quarto ao Norte.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os resultados da análise da ventilação natural higiênica mostraram que as rotinas recomendadas no zoneamento bioclimático geraram percentuais do ano com taxa de renovação abaixo da mínima de 0% a 100%. Esses dados são apresentados na Figura 6. O modelo ZB1 (Curitiba-PR) não aplica a estratégia ventilação. Isso produziu o percentual de 100% do ano com taxa de renovação insuficiente, mesmo com a taxa de infiltração de ar externo. A suspensão da ventilação no período primavera/verão aplicada nos modelos ZB3 e ZB6 (Florianópolis-SC e Bauru-SP) gerou percentuais acima de 50% do ano com vazão insuficiente. Os percentuais com o modelo ZB7 (Palmas-TO) e sua ventilação seletiva contínua foram cerca de metade dos percentuais nos modelos ZB3 e ZB6, mesmo adotando abertura “pequena” e estando no município com as menores velocidades e a maior frequência de calmarias. Os menores percentuais do ano com vazão insuficiente ocorreram com o modelo ZB8 (Natal-RN) e sua rotina de ventilação permanente por abertura “grande”, no

município com as maiores velocidades do vento e a menor frequência de calmarias (como mostrou a Tabela 2). Os percentuais com taxa de renovação insuficiente ocorridos em Natal-RN se devem a períodos com velocidade do ar insuficiente para manter a vazão mínima, já que a ventilação é permanente no modelo ZB8.

Figura 6: Percentuais do ano com taxa de renovação inferior à mínima recomendada, nos modelos "ZB".

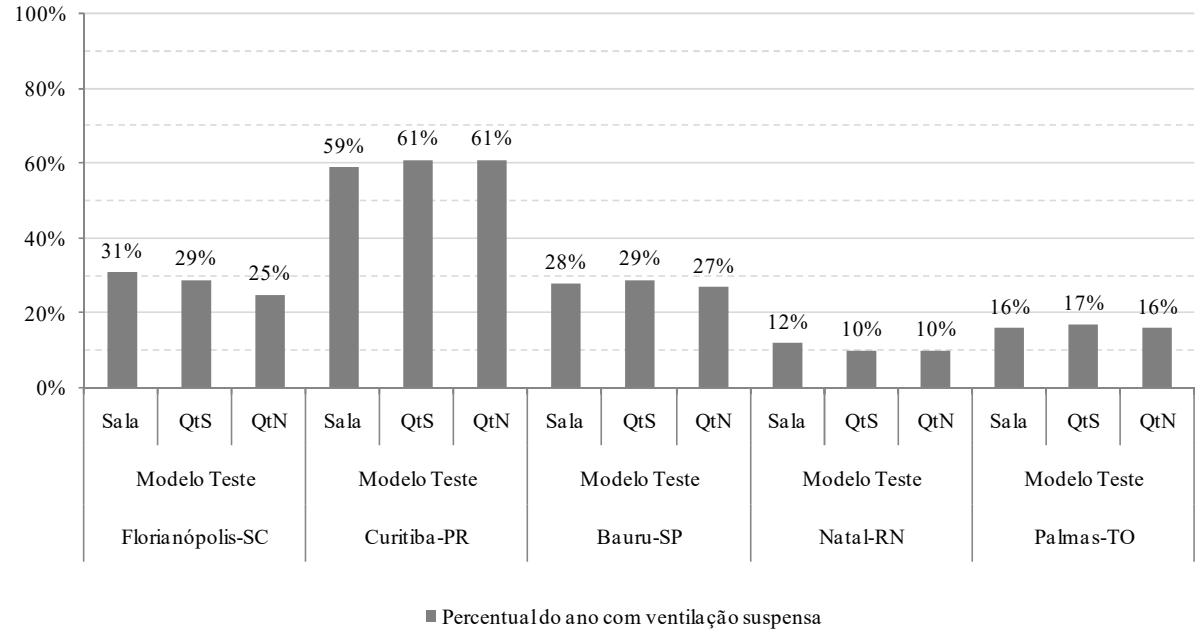


Fonte: Os autores

A rotina de ventilação no sexto modelo seguiu critério da NBR 15575-4 [3]. As aberturas inferiores são "pequenas", nos termos da NBR 15220-3 [1], e ativavam a ventilação apenas quando a temperatura interna era superior à externa e ficava acima de 19°C. O percentual do ano em que ocorreram essas condições em cada cenário testado é apresentado na Figura 7. Os percentuais mais elevados ocorreram no clima mais frio e os mais baixos nos climas mais quentes, respectivamente: Curitiba-PR, Natal-RN e Palmas-TO. Nesse último, ocorreram temperaturas menores que 19°C em apenas 0,81% do ano. Assim, o resultado quantifica quase que apenas a ocorrência de temperatura interna abaixo da temperatura externa.

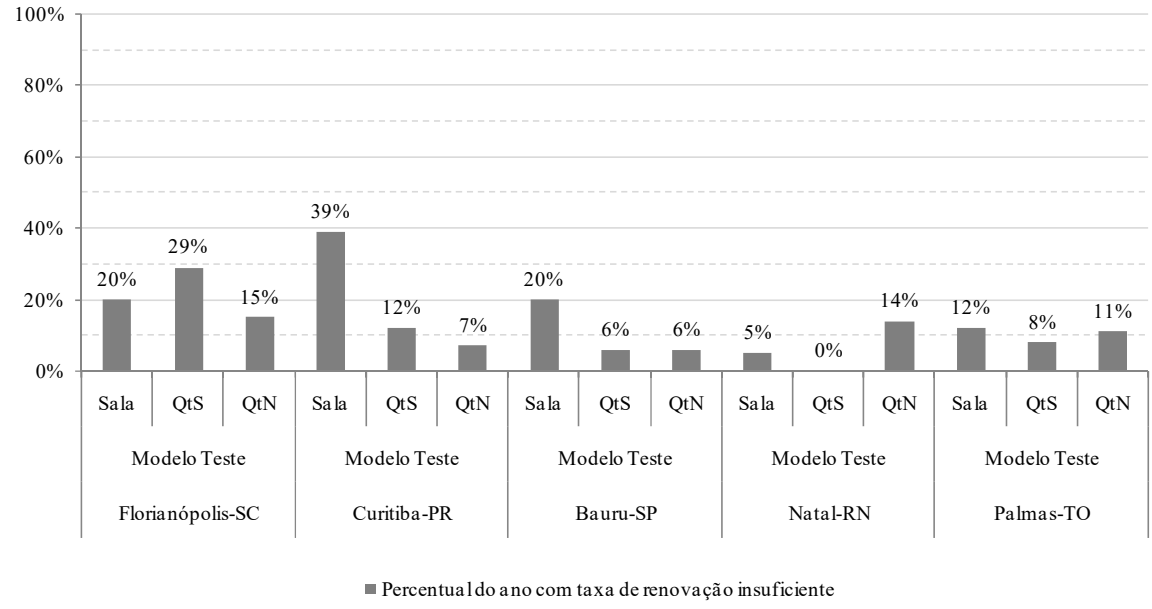
Nos horários em que a ventilação pelas aberturas inferiores do sexto modelo foi suspensa, permaneceu continuamente ativa a ventilação higiênica pelas aberturas superiores. A contribuição dessas aberturas tende a reduzir os percentuais do ano com renovação do ar insuficiente. No entanto, pode não ter havido velocidade do vento suficiente para manter as taxas de renovação acima da mínima, quando a ventilação estava ativa. Isso tende a aumentar os percentuais do ano com renovação insuficiente. Os dados apresentados na Figura 8 mostram que predominou a tendência à redução dos percentuais.

Figura 7: Percentual do ano com temperatura interna menor que a externa ou com temperatura interna igual ou menor que 19°C.



Fonte: Os autores

Figura 8: Percentuais do ano com taxa de renovação inferior à mínima recomendada, no sexto modelo.



Fonte: Os autores

A comparação entre os resultados com o modelo ZB7 e com o sexto modelo em Palmas-TO demonstra que a contribuição da abertura superior provocou redução de 28 a 16 pontos percentuais. Já que ambos os modelos adotaram aberturas "pequenas" e ventilação seletiva, diferindo apenas quanto à adição da abertura superior. A comparação entre o modelo ZB8 e o sexto modelo em Natal-RN mostra uma similaridade entre ambos, alcançando 0% do ano com renovação do ar insuficiente no quarto ao Sul. Isso ocorreu apesar do modelo ZB8 adotar abertura "grande" e ventilação permanente, enquanto o sexto modelo adotou abertura

"pequena" com ventilação seletiva, junto com abertura "mínima" de ventilação permanente. Isso indica que permeabilidades maiores que a do sexto modelo não provocaram aumento significativo na autonomia da ventilação natural higiênica.

O conjunto dos resultados sugere que a ventilação natural higiênica deve ser permanente, ainda que por aberturas "mínimas", para alcançar maior autonomia. Os resultados mostraram ainda que a ventilação natural foi insuficiente para manter a vazão mínima em 100% do ano, na maioria dos cenários testados. Por isso, ventilação mecânica higiênica suplementar deveria ser prevista. Esses resultados tornam-se relevantes no contexto brasileiro, no qual aberturas para ventilação natural higiênica com suplemento de ventilação mecânica não constam entre as diretrizes construtivas atuais.

Aberturas para ventilação higiênica poderiam localizar-se abaixo das janelas em climas quentes, como um peitoril ventilado, aumentando a velocidade do ar na altura dos ocupantes para contribuir também para o resfriamento fisiológico. Ou, localizar-se acima das janelas em climas mais frios, como bandeiras, mantendo a ventilação higiênica sem que a corrente de ar provoque desconforto por frio nos ocupantes.

Espera-se que essas conclusões contribuam para o aperfeiçoamento de diretrizes construtivas em métodos prescritivos, que visem um maior conforto e salubridade no edifício, além de um suporte mais efetivo ao projeto de arquitetos, nas etapas preliminares.

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 CB 055 NBR 16401-3**. Instalações de ar-condicionado - sistemas centrais e unitários: qualidade do ar interior. Rio de Janeiro, 2022.

[5] ANSI; ASHRAE, American National Standards Institute; American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Standard 62.2:** Ventilation and acceptable indoor air quality in residential buildings Atlanta, 2016.

[6] 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.

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

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

[9] 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.

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

[11] 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.

[12] 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.

[13] _____. **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.

[14] _____. **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://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002707.pdf Acesso em: jun, 2021.

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

[16] LAMBERTS, R. et al. **Desempenho térmico de edificações**. ed. Florianópolis: LABEEE, 2016. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf. Acesso em: nov, 2020.

[17] Lu J, et al. COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020. **Emerging Infectious Diseases**. 2020; 26(7): 1628-1631. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7323555/

[18] 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.

[19] 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.

[20] 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.

[21] 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.

[22] 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.

[23] 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. p. 524-541.

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

[25] _____. **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.

[26] VEIGA, R. K. S. et al. Proposta para as escalas dos níveis de desempenho térmico de residências: NMR 15575 In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, XVIII ENTAC, 2020, Porto Alegre. **Anais**: ANTAC, 2020.

[27] 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.