

IMPACTO DA GEOMETRIA DE EDIFICAÇÕES SOBRE O DESEMPENHO TÉRMICO DE ACORDO COM O MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-R¹

*IMPACT OF THE BUILDING SHAPE ON THE THERMAL PERFORMANCE
ACCORDING TO THE BRAZILIAN LABELLING PROGRAM*

LAILA OLIVEIRA SANTANA, JOYCE CORRENA CARLO, LUCIANA BOSCO E SILVA, DENISE MÔNACO DOS SANTOS

RESUMO

Nas últimas décadas, com a evolução da tecnologia computacional, surgiram ferramentas de simulação do desempenho ambiental, trazendo novos paradigmas ao ato de projetar. Elas externalizam aspectos perceptivos não-visuais ao projetista, e assim, auxiliam o cumprimento das premissas arquitetônicas, como, por exemplo, o conforto dos usuários. Muitas vezes, esses preceitos não são incorporados à etapa de concepção, tanto devido às abordagens prevalentes de projeto, que pouco se modificaram nos últimos quatro séculos, como à incipiência de aplicações dos princípios de eficiência energética ao parque edificado. Neste sentido, foram instituídos regulamentos e requisitos técnicos por meio de políticas energéticas internacionais e nacionais. Um dos vigentes no Brasil é o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, aplicado ao presente estudo. O intuito foi estudar, por meio do método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, o impacto da geometria arquitetônica sobre o desempenho energético de edifícios — por meio de um modelo de unidade habitacional autônoma. Verificou-se relações entre o pé-direito e o fator de forma atreladas ao conforto térmico. Realizou-se comparação entre as geometrias dos modelos, com exposição dos resultados de desempenho. Por fim, ressalta-se que descontinuidades e incertezas verificadas no método prescritivo exigem análise posterior dos dados obtidos, por meio de simulações em regime dinâmico.

PALAVRAS-CHAVE: Desempenho. Geometria arquitetônica. RTQ-R.

ABSTRACT

In the last two decades, with the computational technology evolution, building energy simulation software have arisen, bringing new paradigms to the act of designing. These software outsource perceptual non-visual aspects to the designer, and thus, help fulfill the architectural preconditions, such as the comfort of the users. Often, such precepts are not incorporated into the design stage either because of the prevailing design ap-



proaches, which have changed little over the past four centuries, or because of the incipience of applications of energy efficiency principles to the built-up development. In this sense, regulations and technical requirements were established by International and National Energy Policies. One of those is the Brazilian Technical Quality Standard for the Energy Efficiency Level of Buildings (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais), which is applied to the present study. The purpose of the present paper is to study the impact of building shapes on the energy performance using an autonomous housing unit model and the prescriptive method of Technical Quality Standard for the Energy Efficiency Level of Buildings. A relation has been found between the ceiling height and the form factor with an impact on the thermal comfort. A comparison was made between the geometries of the models and the performance results were exposed. Finally, it is emphasized that discontinuities and uncertainties verified in the prescriptive method require further analysis of the results obtained, through dynamic simulations.

KEYWORDS: Performance. Building shape. RTQ-R.

INTRODUÇÃO

Edifícios concebidos para racionalizar o uso da energia e proporcionar conforto aos usuários, têm sido, com frequência cada vez maior, objeto de investigação científica. Evins (2013) aponta que os aspectos geométricos são os mais complexos no estudo dessas edificações, por impactarem a funcionalidade, a estrutura, a estética e o conforto ambiental. Frequentemente, as abordagens prevalentes de projeto agregam de modo precário essas informações às etapas preliminares de concepção geométrico-espacial. Isso se deve a paradigmas de projeto criados há séculos.

Com a invenção da projeção geométrica planar e da perspectiva durante o Período Renascentista, o desenho tornou-se essência da concepção arquitetônica (GÜRISOY & ÖZKAR, 2015). A datar desse período, intensificou-se a abstração visual sobre o trabalho artesanal, e o desenho substituiu os mestres construtores pelos projetistas. Até então, mestres eram artesãos que trabalhavam diretamente com os objetos de abstração, enquanto os projetistas representavam suas ideias por meio de desenhos precisos o suficiente para serem executados sem a sua presença.

Krznaric (2013) relata que tal contexto faz parte do início de uma “tradição do olhar”, em que a visão se tornou o centro da percepção sobre o ambiente na cultura ocidental. Como exemplo, pode-se citar a evolução do planejamento dos jardins. Os primeiros jardins foram criados não apenas para efeitos estéticos, mas para transmitir significados por meio de alegorias. Na Europa Medieval, as plantas eram frequentemente cultivadas pelo simbolismo ligado à fragrância. Com o tempo, extinguiu-se o simbolismo do projeto em favor do prazer visual. Nos períodos posteriores, passou-se à ênfase sobre a ordem

visual e a simetria. Atualmente, numa sociedade hipervisual, ocorre uma conformação a realidades de impressões superficiais. No que tange ao ato de projetar, essa conformação pode revelar-se como obstáculo, visto que a arquitetura é mais que uma mera abstração a partir de imagens, um desenho ou uma combinação de formas geométricas.

Segundo Liebich (1994), se um projeto arquitetônico se traduz apenas em um arranjo visual, ele falhará no cumprimento das demais premissas arquitetônicas — funcionalidade, conforto térmico, e assim por diante. Até consistentes aumentos da capacidade computacional e da popularização dos microcomputadores, era laborioso inserir às etapas de concepção de um edifício outras dimensões de compreensão que não a percepção visual do ambiente. Isso requeria ferramentas de medição *in loco*, análises em maquetes, entre outras. Ainda assim, os dados obtidos refletiam condições pontuais, e não a dinâmica do ambiente em um intervalo significativo de tempo.

Por fim, Evins (2013) expõe a complexidade do estudo da geometria em comparação ao de materiais de construção, que possuem características físicas mensuráveis ligadas ao desempenho térmico, como capacidade térmica, transmitância térmica, entre outras. Por tudo dito, ainda é vasta a lacuna de estudos que associem os aspectos geométrico-espaciais ao conforto ambiental. Nesse sentido, o objetivo com este trabalho foi investigar o impacto dos valores de parâmetros geométricos de ambientes de permanência prolongada² (altura do pé-direito, largura e comprimento), área de cobertura e áreas de superfícies externas sobre o desempenho térmico de edificações residenciais.

MATERIAIS E MÉTODOS

O método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais (RTQ-R), foi a ferramenta escolhida para realização das análises deste estudo — por apresentar rapidez na modelagem e obtenção de resultados em relação aos métodos de simulação dinâmica. O RTQ-R foi instituído em 2010 pela Eletrobras/Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), por meio do Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações junto à Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) que designa o nível de eficiência³ energética de edificações (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2012).

O RTQ-R apresenta duas abordagens para a classificação do nível de eficiência: o método de simulação e o prescritivo. O primeiro utiliza *software* de simulação energética no processo de avaliação do edifício (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2012). Já o prescritivo tem como base duas equações para análise da eficiência energética da envoltória, uma para condições de inverno e outra para condições de verão. As equações foram desenvolvidas por meio de regressão a partir de simulações de dois modelos de residências, utilizando o *software EnergyPlus* (SORGATO, 2009). A base do método é a análise dos Ambientes

de Permanência Prolongada (APP). Neles são definidos padrões ocupação máxima de 2 pessoas por dormitório, com horários de uso tipicamente brasileiros.

Os indicadores da eficiência energética do método prescritivo do RTQ-R são o Consumo Relativo para Aquecimento (CA) — o consumo anual de energia pela área (kWh/m²) necessária para aquecimento do ambiente durante o período de 21h às 8h, todos os dias do ano, com manutenção da temperatura em 22°C — e Graus-Hora para Resfriamento (GHR) — somatório anual de Graus-Hora calculado para a temperatura operativa base de 26°C. Valores inferiores de CA e de GHR indicam maior eficiência — A o maior nível de eficiência e E o menor. Valores de $GHR \leq 822$ denotam nível A, $822 < GHR \leq 1643$, nível B, $1643 < GHR \leq 2465$, nível C, $2465 < GHR \leq 3286$, nível D, e $GHR > 3286$, nível E. Valores de $CA \leq 6429$ denotam nível A, $6429 < CA \leq 12858$, nível B, $12858 < CA \leq 19287$, nível C, $19287 < CA \leq 25716$, nível D, e $CA > 25716$. E há no RTQ-R, também os equivalentes numéricos, transcrições das classificações de A a E, em algarismos — 5 para A, 4 para B, 3 para C, 2 para D e 1 para E. Eles são utilizados para o cálculo geral dos resultados de eficiência de CA e GHR somados, como mostrado na equação 2.

As equações para o cálculo dos valores de CA e GHR estão disponíveis na seção 3 do RTQ-R (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2012). No presente trabalho foram estudadas as seguintes variáveis da equação GHR: *AAbL*, *AabO*, *AabS*, *APambL*, *APambO*, *ApambN*, *ApambS*, *AparInt*, *Auamb*, *Caltura*, *PambL*, *PambO*, *PambN*, *PambS*, *PD*, *SomAparext* e *volume*. O modelo de estudo é definido no próximo tópico.

A eficiência energética é classificada a partir da relação dos GHR e CA com os equivalentes numéricos — os pesos são estabelecidos para cada ZB. A Equação 2 apresenta os pesos da eficiência da envoltória para aquecimento e resfriamento para a ZB 3.

$$EqNumEnv = 0,64 \times EqNumEnvResfr + 0,36 \times EqNumEnvA \quad \text{Equação 1}$$

Sendo:

- EqNumEnv: equivalente numérico da envoltória;
- EqNumEnvResfr: equivalente numérico da envoltória para resfriamento;
- EqNumEnvA: equivalente numérico da envoltória para aquecimento.

OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo é a influência da forma geométrica sobre o desempenho térmico de edificações residenciais. Para a análise, foi criada uma unidade habitacional autônoma de baixa renda, baseada em um modelo estabelecido por Tavares (2006) (Figura 1). A casa está localizada no município de Viçosa (MG), Zona Bioclimática 3. Foram utilizadas restrições presentes no Código de Obras do Município.

A Unidade Habitacional (UH) é formada por um único pavimento constituída pelos ambientes: uma sala, dois dormitórios, um escritório, um banheiro, uma cozinha e uma antessala (acesso ao escritório e dormitório 2). Considerou-se que o entorno da edificação não possui obstáculos ou dispositivos que ocasionem sombreamento nos fechamentos e nas aberturas. As constantes do modelo referem-se aos materiais de construção e as variáveis referem-se a características geométricas da edificação. Elas são discutidas no próximo tópico.

ESTABELECIMENTO DAS VARIÁVEIS E DAS CONSTANTES DO MODELO (UH)

A. CONSTANTES

A.1. ABERTURAS

De acordo com o RTQ-R, ambientes de permanência prolongada devem possuir percentual de áreas mínimas de aberturas para ventilação. O não atendimento a esse pré-requisito implica em no máximo nível C no equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento. A orientação das aberturas foi mantida fixa, e equivalente a 17% da área do piso do seu respectivo ambiente, a fim de atender, simultaneamente, o mínimo disposto no Código de Obras⁴ de Viçosa e no RTQ-R.

Para a Zona Bioclimática 3, o RTQ-R dispõe que a UH deve possuir ventilação cruzada proporcionada por sistema de aberturas compreendido pelas aberturas externas e internas, sendo que portas de acesso principal e de serviço não são consideradas como aberturas para ventilação.

O projeto de ventilação natural deve promover condições de escoamento de ar entre as aberturas localizadas ao menos duas diferentes fachadas (opostas ou adjacentes) e orientações da edificação, permitindo o fluxo de ar necessário para atender condições de conforto e higiene. [...] Caso não possua ventilação cruzada, a UH atingirá, no máximo, nível C no equivalente numérico da envoltória para resfriamento (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2012, p.28).

As aberturas do modelo cumprem o prescrito pelo regulamento, conforme Figura 1. Ainda de acordo com o RTQ-R, o acesso à iluminação natural em ambientes de permanência prolongada deve ser garantido por uma ou mais aberturas para o exterior.

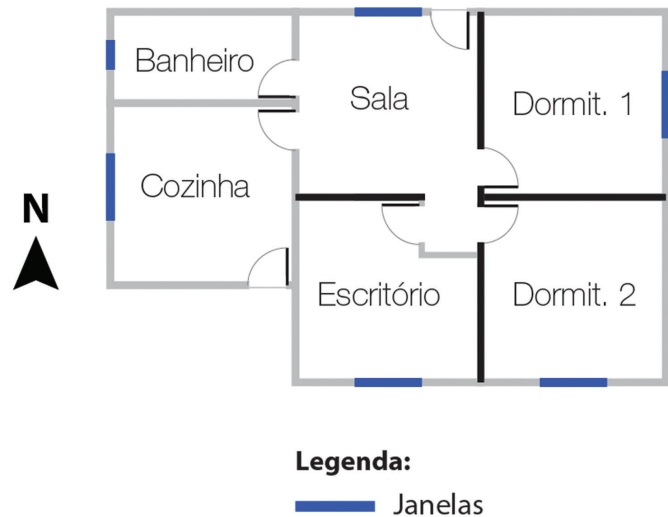


FIGURA 1 —
Planta da UH.
Fonte: Elaborada
pela autora L.O.
SANTANA (2017).

A soma das áreas de aberturas para iluminação natural de cada ambiente deve corresponder a no mínimo 12,5% da área útil do ambiente” e “o não atendimento a este pré-requisito implica em, no máximo, nível C nos equivalentes numéricos da envolvente do ambiente para resfriamento para aquecimento e para refrigeração (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2012, p.70).

Assim, todos os ambientes da UH utilizam como padrão janelas de abrir 90° (ou giro) com 1 ou duas folhas, abertura para iluminação natural de 90% e abertura para ventilação natural de 90%. O *somb* ($somb=0,2$), indicador de sombreamento de aberturas que determina ângulos mínimos de beirais para Norte, Sul, Leste e Oeste, foi também mantido constante.

A.2. DIMENSÕES DOS AMBIENTES

As áreas dos ambientes de ocupação transitória da unidade habitacional, permaneceram constantes, pois esses ambientes não são adicionados à média da classificação geral do RTQ-R, mas afetam na etiqueta geral quanto à ventilação cruzada da UH. No regulamento, são considerados ambientes de ocupação transitória: cozinha, lavanderia ou área de serviço, banheiro, circulação, varanda aberta ou fechada com vidro, *solarium*, garagem, dentre outros. A cozinha e o banheiro permaneceram com dimensões de 3,0mx3,5m e 3,0mx1,5 m, respectivamente. Todas as portas da UH possuem dimensões de 2,1mx0,8m.

A.3. MATERIAIS E CORES

Os pré-requisitos de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das paredes externas e coberturas de ambientes de permanência prolongada foram atendidos de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação se localiza conforme o disposto pelo RTQ-R, para atendimento ao nível A. Selecionou-se materiais construtivos entre os mais frequentemente utilizados em edificações residenciais no Brasil, de acordo com o Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes e Coberturas (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2012) e NBR 15220 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005). As paredes apresentam transmitância térmica (U) de 1,85W/m²K e capacidade térmica (CT) de 161kJ/m²K; e a cobertura, transmitância térmica (U) de 1,79W/m²K e capacidade térmica (CT) de 185kJ/m²K. É considerado que a UH possui cor clara nas paredes externas, com $\alpha=0,2$; assim como a cobertura com $\alpha=0,4$. Considera-se que a casa possui laje do tipo radier, e que a variável binária *solo* tem valor 1. O método prescritivo do RTQ-R não considera nos cálculos a inclinação da cobertura, somente condiciona a APP a ter contato com o exterior.

B. VARIÁVEIS

B.1. DIMENSÕES DOS AMBIENTES

Foram realizadas modificações geométricas apenas quanto aos APP. De acordo com o RTQ-R, APP são os ambientes que apresentam ocupação contínua por um ou mais indivíduos, incluindo sala de estar, sala de jantar, sala íntima, dormitórios, escritório, sala de TV ou ambientes de usos similares aos citados. O Código de Obras de Viçosa restringe as áreas mínimas dos compartimentos de edifícios residenciais segundo a destinação ou atividade: 6,0m² para a função de dormir ou repousar; 9,0m² para a função de estar ou lazer; 4,0m² para a função de preparo de alimentos.

O modelo foi definido a partir de um ponto âncora A no encontro entre os ambientes de permanência prolongada, conforme ilustrado nas Figuras 1 e 2. Foram definidas 3 variáveis, duas em planta e uma na altura do pé-direito (Figuras 2 e 3). Então, determinou-se os posicionamentos dessas variáveis, de modo que houvesse equilíbrio da exposição solar dos ambientes, de acordo com a orientação, com norte perpendicular à fachada principal. Optou-se por trabalhar com mudanças nos valores de área útil da UH, tendo em vista o impacto da área de cobertura sobre a eficiência das edificações.

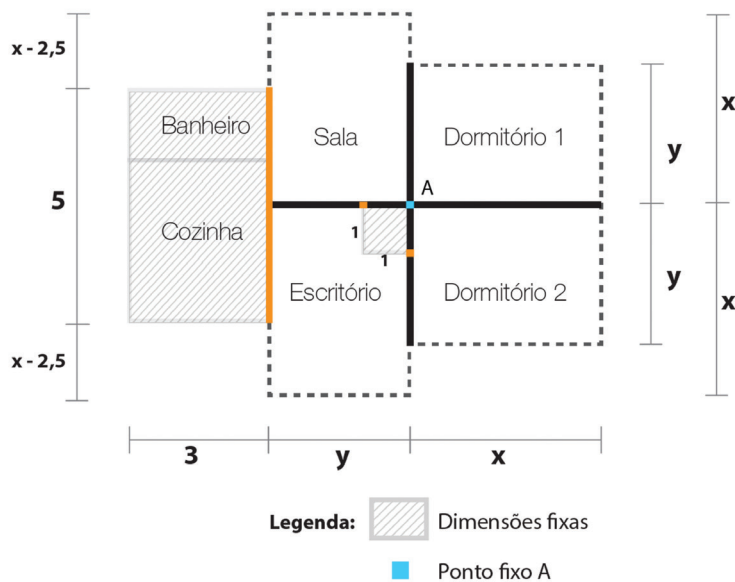


FIGURA 2 — UH com distribuição das variáveis x e y.
Fonte: Elaborada pela autora L.O. SANTANA (2017).

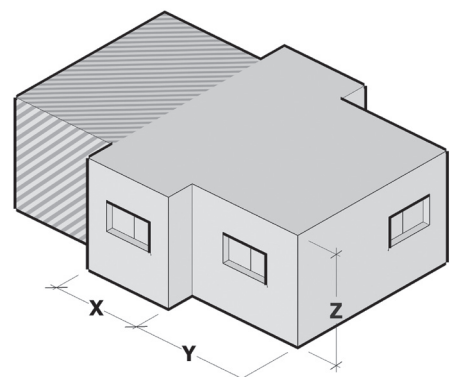


FIGURA 3 — UH com distribuição das variáveis x, y e z.
Fonte: Elaborada pela autora L.O. SANTANA (2017).

Foram aplicados valores às variáveis em intervalos de 0,4m para x e y; sendo $2,5 < x < 6,1$ e $2,5 < y < 6,1$; e intervalos de 0,5m para z, sendo $2,5 < z < 4,0$. Assim, a variável x assume os valores: $x = \{2,5; 2,9; 3,3; 3,7; 4,1; 4,5; 4,9; 5,3; 5,7; 6,1\}$; y assume os valores: $y = \{2,5; 2,9; 3,3; 3,7; 4,1; 4,5; 4,9; 5,3; 5,7; 6,1\}$ e z assume os valores: $z = \{2,5; 3,0; 3,5; 4,0\}$. Foram realizadas todas as combinações possíveis entre os valores especificados para as variáveis, totalizando 400 disposições geométricas. O nível de eficiência dos modelos foi obtido por meio da equação de GHr do método prescritivo do RTQ-R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados, em relação à etiqueta de eficiência para o inverno (Consumo Relativo para Aquecimento, CA), não se alteraram com as mudanças geométricas, apresentando nível A em todos os modelos. Isso indica que, para esse modelo, a escolha de eletrodomésticos e materiais de construção com base no prescrito pelo RTQ-R foi o suficiente para garantir conforto e eficiência para as condições de inverno. Em relação ao indicador para o verão (Graus-Hora de resfriamento, GHr), houve variação na classificação, com etiquetas de A a C. Assim, foram analisados somente os resultados dos GHr. As discussões estão divididas em duas partes: análise por ambiente e análise geral da UH, divididas nos tópicos seguintes.

ANÁLISE POR AMBIENTE

Foram analisados resultados referentes a cada APP, relacionando a eficiência ao fator de forma (Figuras 4 e 5). O fator de forma foi definido como indicador tendo em vista os critérios dos RTQ-C. Antes da escolha por este, foram analisados outros indicadores, como, por exemplo, o índice de compactidade. No entanto, ele exclui dos cálculos a essencial parcela relacionada à cobertura da edificação - como conhecido, pois as baixas latitudes brasileiras geram maior incidência solar na cobertura do que nas paredes. O fator de forma é calculado partir da razão entre área de paredes e de projeção da cobertura em contato externo do APP, sobre o volume total dele (Equação 2).

$$Ff = \frac{\text{Área superfícies}}{\text{Volume}} \quad \text{Equação 2}$$

Os coeficientes de determinação (R^2) da curva da sala, do dormitório 1, do dormitório 2 e do escritório são respectivamente: 0,5313; 0,5938; 0,6382 e 0,3193. A baixa a correlação entre Fator de Forma e os GHr para as 400 disposições geométricas dos APP mostra que este índice, nesse caso, não é o mais adequado para descrever a ligação entre a geometria e a eficiência por ambiente, no entanto algumas inferências e hipóteses podem ser feitas a partir de padrões observados nos gráficos. Na Figura 4, os GHr são menores quando fator de forma é baixo, para todos os casos.

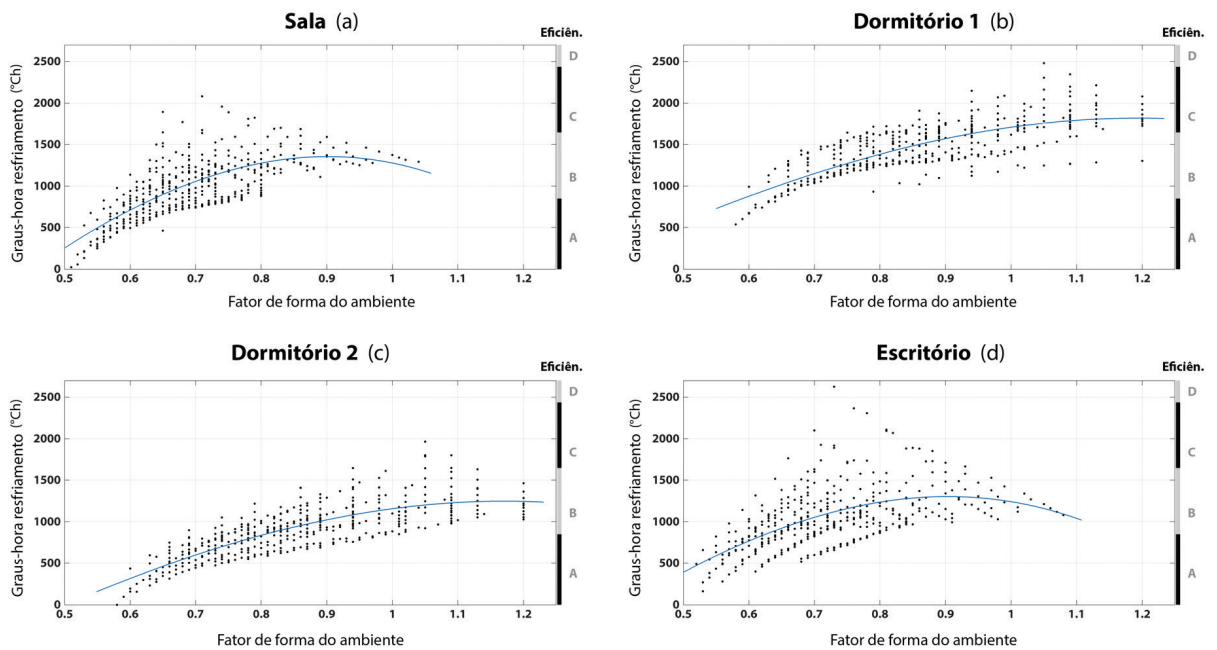


FIGURA 4 — Ghr por Ffamb para os Ambientes de Permanência Prolongada individualmente.
Fonte: Elaborada pela autora L.O. SANTANA (2017).

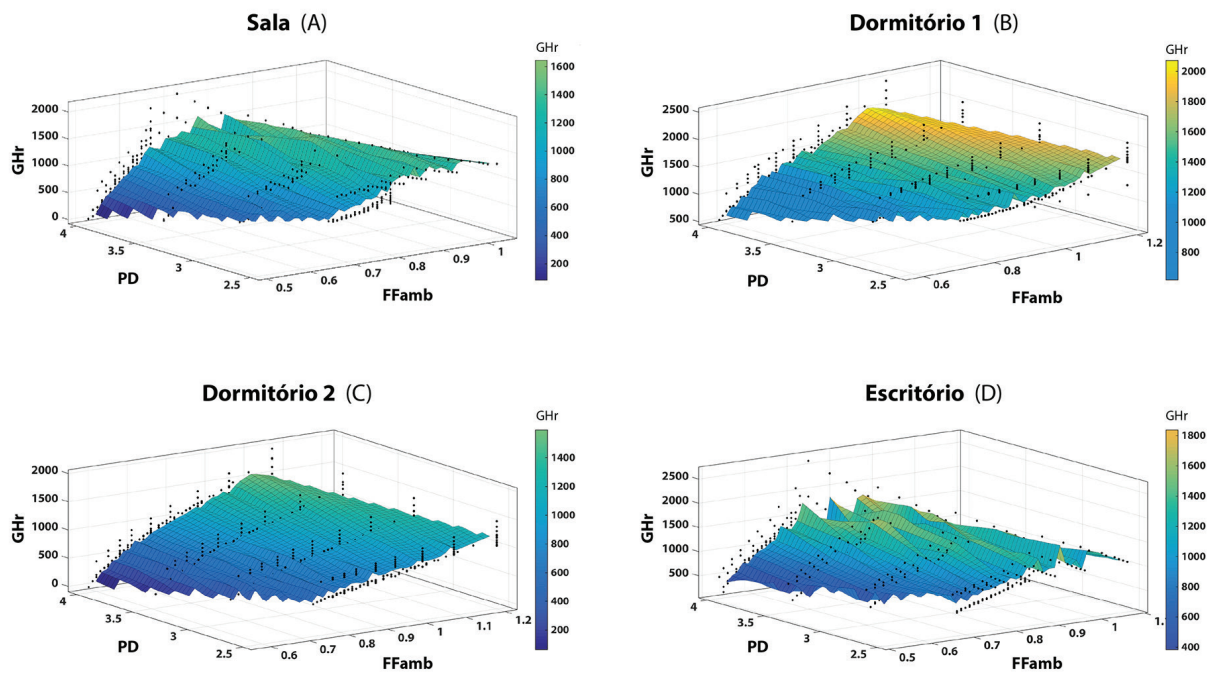


FIGURA 5 — Graus-Hora de Resfriamento por pé direito e fator de forma para cada APP (GhrxFfambx PD).
Fonte: Elaborada pela autora L.O. SANTANA (2017).

As fachadas que contêm aberturas são: norte para sala (Figura 4a), leste para dormitório 1 (Figura 4b), e sul para dormitório 2 e escritório (Figura 4c e 4d). Quando comparadas à relação do fator de forma com os GHr, a orientação tem baixa influência na eficiência energética dos APP, o que mostra a predominância da geometria dos ambientes e a relação com paredes externas e internas. As paredes externas do dormitório 1 e do dormitório 2 estão expostas a leste em todos os casos e as da sala e escritório são eventualmente expostas a leste e a oeste. Quando há exposição externa destas paredes, a eficiência para os casos de verão decresce, pois, a existência de mais superfícies externas aumenta o contato com as condições ambientais de temperatura, radiação e ventos. Isso é registrado pela equação e ponderado com as propriedades térmicas desses fechamentos, mas é importante frisar que a eliminação de uma parede exposta causa resultados atípicos nos valores⁵.

Nota-se que a distribuição dos casos dos dormitórios (Figuras 4b e 4c) é semelhante, porém com um deslocamento dos GHr no eixo das ordenadas. Considerando que o dormitório 1 tem fachada opaca a norte e abertura a leste, e o dormitório 2 tem fachada opaca a leste e abertura a sul, acredita-se que esse deslocamento da curva é causado pela orientação da abertura, enquanto a distribuição dos casos e, consequentemente, o aspecto geral da curva e dispersão dos pontos, é determinado pela geometria do ambiente, que define a exposição das paredes externas. Essa conclusão também é válida para os casos da sala (Figura 4a) e do escritório (Figura 4d), que têm geometrias similares.

De acordo com a equação do RTQ-R, à medida que há aumento do pé-direito, há aumento da variação dos valores dos Graus-Hora para Resfriamento (Figura 5). Em todos os casos, ambientes com pé-direito de 4,0m, apresentaram os maiores e os menores GHr gerais. Os pontos representam, em cada gráfico, cada uma das 400 disposições geométricas dos APP. As superfícies foram geradas por meio de interpolação linear, com R^2 variando de 0,722 a 0,885. Os correspondentes valores de GHr compõem o eixo vertical, também representado em cores. Portanto, o coeficiente de determinação mais alto em relação à Figura 4 mostra que o pé-direito ocasiona significativo efeito sobre os valores de GHr e, ao isolar esta variável, alguns caminhos para a análise dos parâmetros que influenciam o desempenho térmico começam a ser delimitados.

Por fim, foram selecionados alguns casos de APP, com diversos fatores de formas, para permitir a visualização das formas geométricas e sua relação com os GHr. A Figura 6 relaciona a geometria em planta de cada ambiente, o pé-direito no eixo das ordenadas, o fator de forma no eixo das abscissas, a área (em m^2 , sobre as Figuras) e os GHr, em uma escala de cores. As paredes em contato com o exterior são representadas por linhas grossas (em preto), e também é indicada a orientação dos ambientes no canto esquerdo inferior do gráfico.

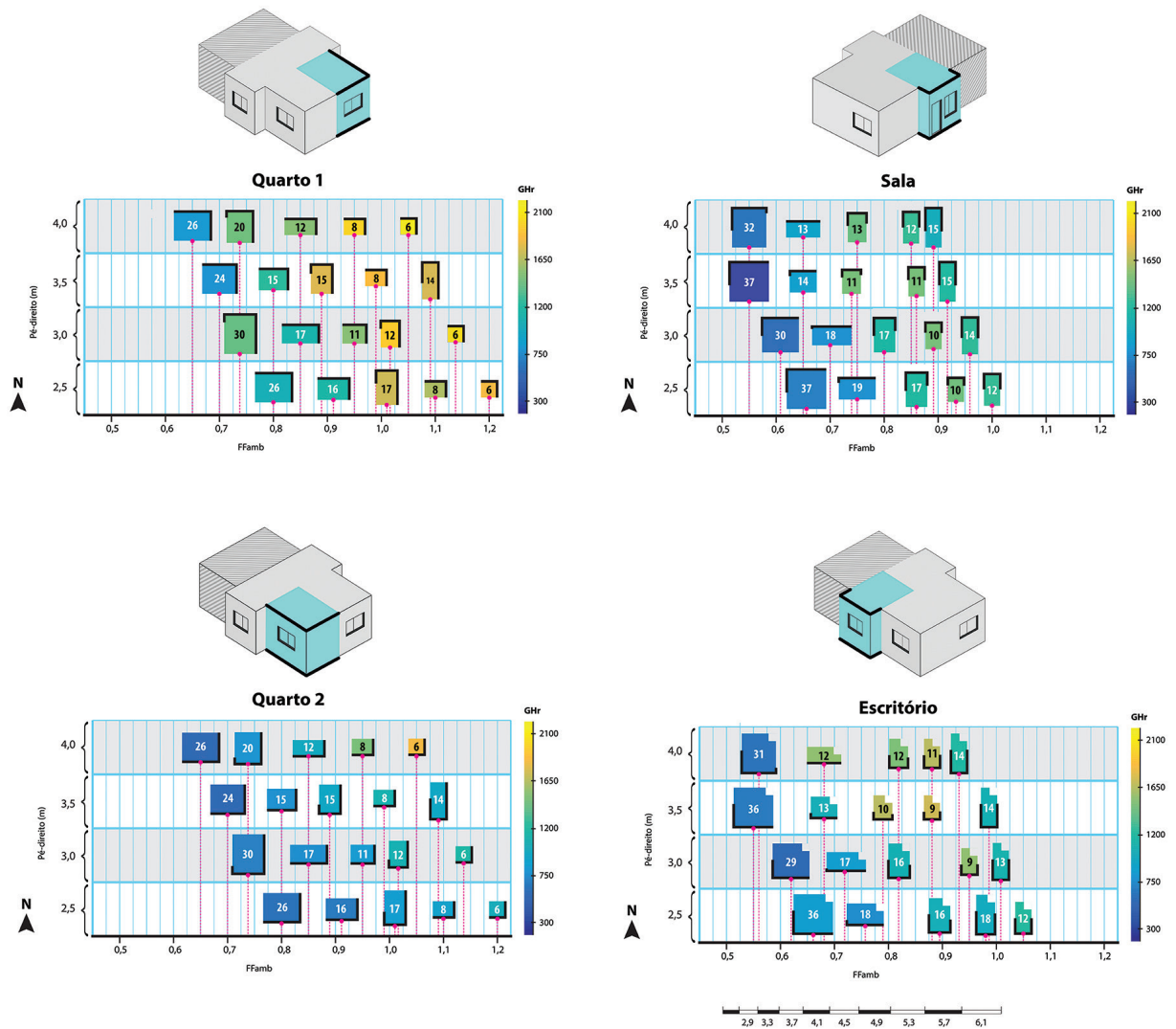


FIGURA 6 — Seleção de geometrias dos APP.
Fonte: Elaborada pela autora L.O. SANTANA (2017).

Observou-se que os ambientes com menor fator de forma, e com maiores áreas, apresentam os maiores níveis de eficiência para verão de acordo com o RTQ-R. Por outro lado, formas mais alongadas, que apresentam maior área de contato de paredes externas em relação ao volume, ou ambientes com menor área, apresentam os menores níveis de eficiência. Há ressalvas a serem feitas quanto aos resultados, que são expostas no tópico subsequente.

ANÁLISE GERAL DA UH

Para chegar à eficiência da UH, o RTQ-R requer o cálculo da média dos equivalentes numéricos de cada ambiente ponderada pela sua área. Entretanto, foi mantida a escala

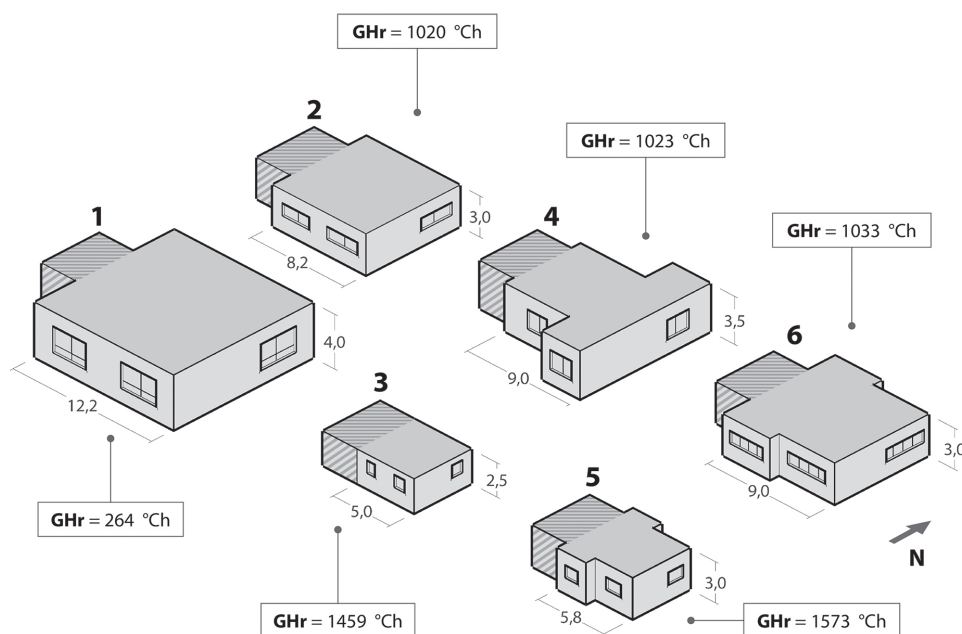


FIGURA 7 —
Variações
geométricas da UH
com seus respectivos
GHr.
Fonte: Elaborada
pela autora L.O.
SANTANA (2017).

de GHr para continuar o detalhamento das análises. Portanto, a eficiência da UH para condições de verão foi analisada a partir da média dos GHr de cada ambiente ponderada pela sua área. A Figura 7 mostra algumas das variações geométricas analisadas, em que não se nota uma relação uniforme entre a geometria com os valores de GHr.

Na Figura 8, são apresentadas as plantas dos ambientes de permanência prolongada (geometricamente proporcionais) de todos os casos possíveis para pés-direitos de 2,5m e para os pés-direitos de 4,0m, com a escala de GHr representada em cores. As abscissas e ordenadas dos gráficos são, respectivamente, as variáveis geométricas x e y da UH. A Figura 9 mostra as geometrias em três dimensões (com alguns casos selecionados na Figura 8). Nota-se, pelos dois gráficos, que o aumento de volume e da área das edificações acarreta aumento da eficiência nas condições de verão. Vale ressaltar que Sorgato (2009), por meio de simulações em regime dinâmico pelo *software EnergyPlus*, relata que, o aumento do tamanho dos ambientes da edificação resulta em uma pior eficiência para as condições de inverno. No estudo realizado pelo mesmo autor, para a Zona Bioclimática 3, a relação diametral — o aumento da área e do volume ocasionando melhoria para as condições de verão — não se verifica. O método prescritivo do RTQ-R tem como base simulações a partir de apenas dois modelos geométricos de residências. Portanto, visto a dissonância dos resultados, é essencial a comparação desse método a simulações dinâmicas por meio de modelos com significativas alterações nas dimensões dos ambientes — para verificar se há adequação no peso dos parâmetros geométricos nas equações do método prescritivo do RTQ-R.

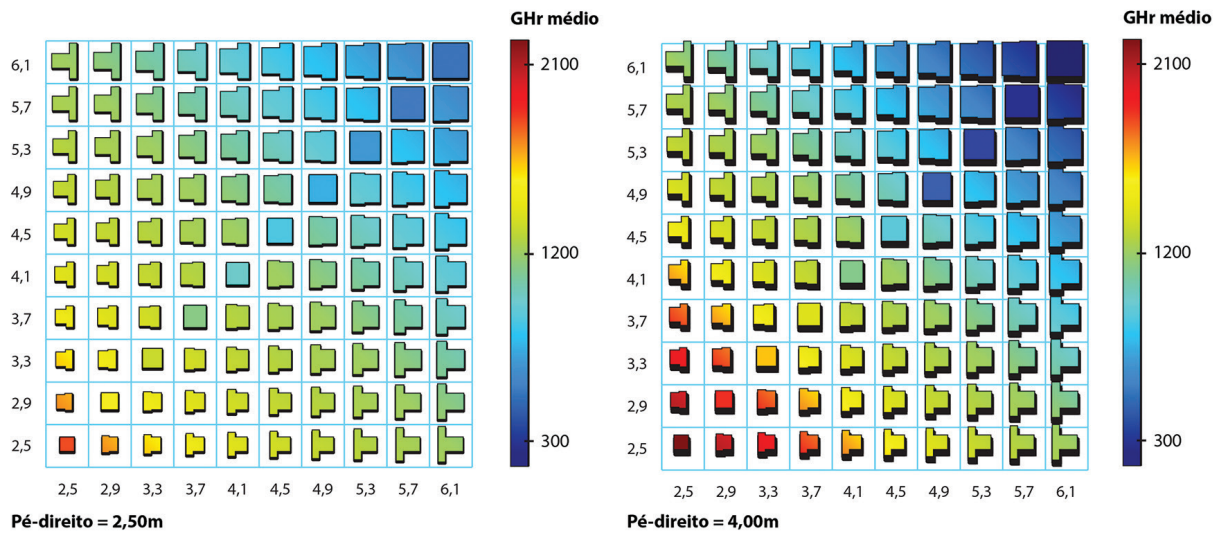


FIGURA 8 — Impacto da geometria da UH sobre os GHR de acordo com o RTQ-R. Plantas distribuídas no gráfico através das variáveis x e y da UH (para os pés-direitos 2,5m e 4,5m).

Fonte: Elaborada pela autora L.O. SANTANA (2017).

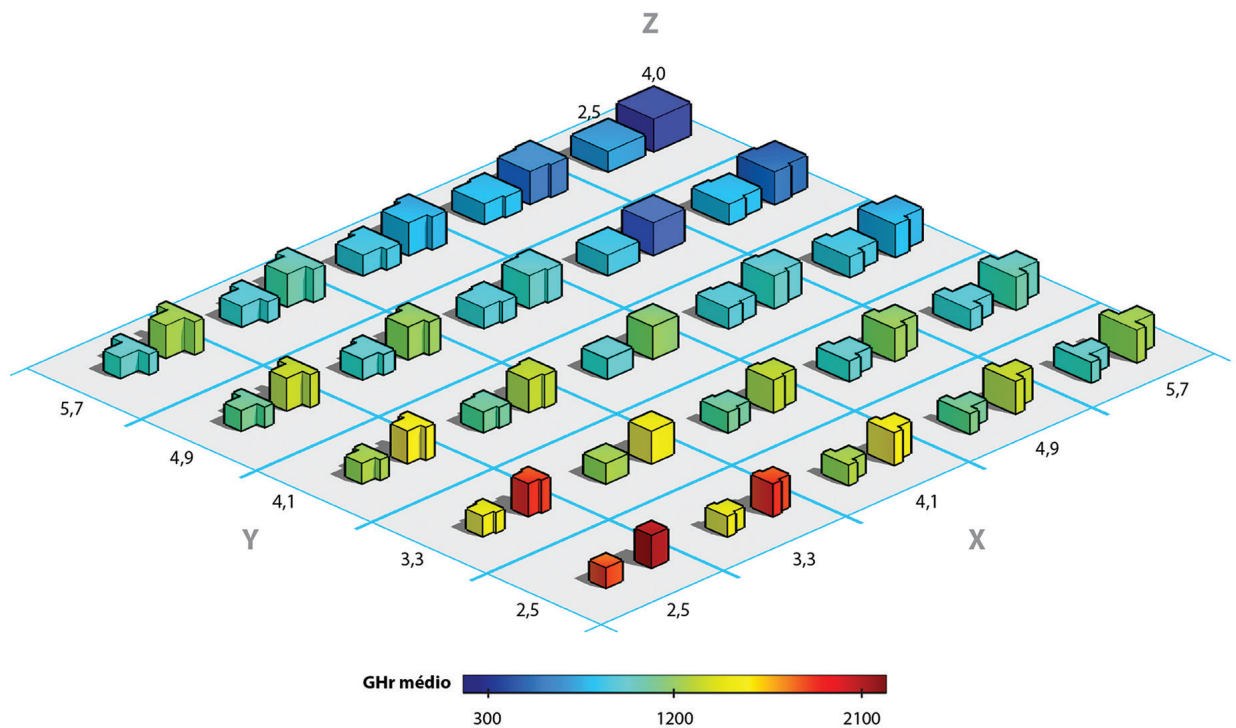


FIGURA 9 — Impacto da geometria sobre os GHR de acordo com o RTQ-R. Casos selecionados, com pés-direitos iguais a 2,5m e 4,0m.

Fonte: Elaborada pela autora L.O. SANTANA (2017).

Foi analisada a relação entre o valor do pé-direito e os Graus-Hora para Resfriamento da UH — os resultados são mostrados na Figura 10. Como visto na análise dos APP, com aumento do pé-direito, houve aumento da variação dos valores de GHR. Percebe-se que, o conjunto das UH com PD=4,0 m contém a edificação com a maior e a edificação com a menor eficiência, em comparação com todas as amostras. Isso expõe que, quanto mais alto o valor do pé-direito, maior o peso da variável PD (e o peso de todas as interdependentes a essa) sobre a eficiência para os GHR, de acordo com o método prescritivo do RTQ-R.

É importante destacar o grande efeito que os ganhos de radiação pelas janelas e cobertura podem ocasionar sobre o desempenho térmico de um edifício. Esses fatores não podem ser avaliados detalhadamente, visto que o método prescritivo não mensura a dinâmica dos fenômenos. Além disso, nota-se diminuição brusca dos resultados de GHR dos edifícios onde $x=y$ (APP nos quais não há paredes a leste e a oeste, comparado ao menor valor destas, igual a 0,5m). Todas elas são, claramente, limitações do método prescritivo do RTQ-R. Os resultados obtidos neste estudo refletem as condicionantes a partir de uma única equação, por isso devem ser verificados a partir de comparações com simulações em regime dinâmico em estudo posterior, tanto para condições de inverno quanto de verão. Estas também são importantes para se determinar se a correlação demonstrada entre PD e Ff é verdadeira ou é decorrente do método prescritivo do RTQ-R. Por fim, vale ressaltar, pela conhecida complexidade, a importância do estudo de novos indicadores relacionados à geometria das edificações, como proposto por Granadeiro *et al.* (2013) e outros pesquisadores da área.

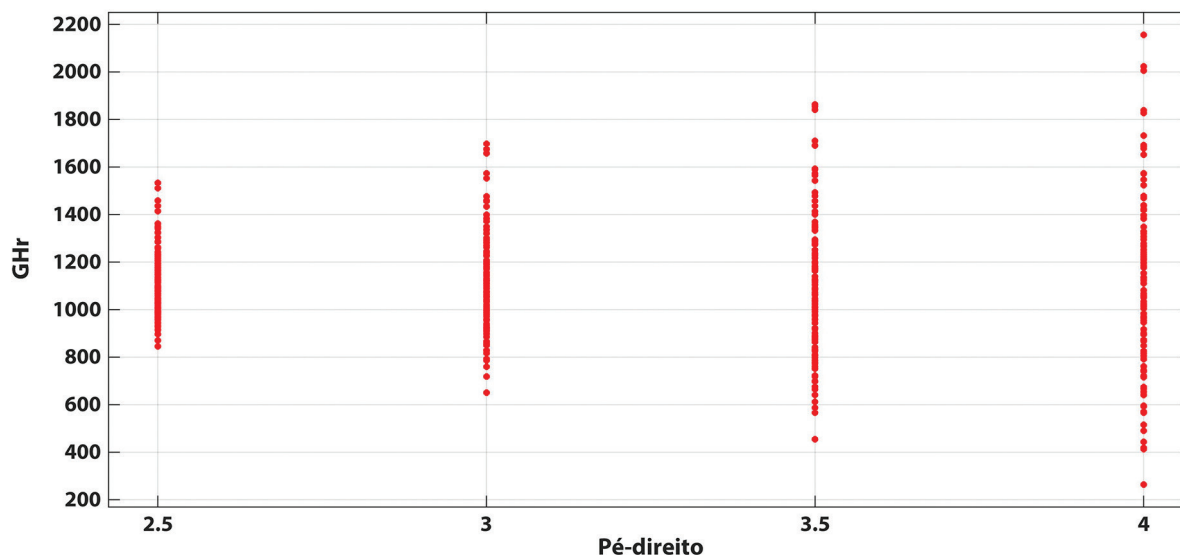


FIGURA 10 — Graus-Hora por valor de pé-direito da UH.

Fonte: Elaborada pela autora L.O. SANTANA (2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de investigar o impacto da variação dos valores de parâmetros geométricos, tais como dimensões dos ambientes, área de cobertura e áreas de superfícies externas sobre o desempenho térmico de edificações residenciais. Utilizou-se, como base, indicativos numéricos do método prescritivo do RTQ-R associados a um modelo de unidade habitacional composto por três variáveis. Foi determinado número limitado de variáveis visando a exposição de todas as geometrias com os correspondentes valores de GHr.

Quanto aos resultados, o mais expressivo foi o impacto do valor do pé-direito. À medida que se aumentou o pé-direito, amplificou-se a variação dos valores dos Graus-Hora para Resfriamento (Figura 5). Em todos os casos, ambientes com pé-direito de 4,0m, apresentaram os maiores e os menores GHr gerais. Os coeficientes de determinação dos gráficos por ambiente mostraram que, de acordo com o método prescritivo, o pé-direito ocasiona significativo efeito sobre os valores de GHr. Outro dado refere-se ao volume e à área das unidades habitacionais; o aumento de ambos acarretou maior eficiência para as condições de verão. No entanto, a literatura não confirma esse fenômeno, o que requer avaliação por meio de simulações em regime dinâmico. Por fim, o fator de forma, não apresentou linearidade em relação ao desempenho térmico.

Para análises mais profundas da influência de aspectos geométricos sobre o desempenho térmico, é essencial o estudo de outros modelos residenciais, com maior número de variáveis e parâmetros, tais como intervalo contínuo nas dimensões dos ambientes; variação das áreas de aberturas, variação da orientação das aberturas, análise do desempenho por ambiente utilizando diferentes conformações de aberturas, variação na inclinação da cobertura (que pode ser tratada como uma zona térmica com desempenho próprio); linguagem geométrica/formal similar a casas de diferentes rendas brasileiras, geometrias não-ortogonais e aplicação a outras Zonas Bioclimáticas brasileiras. Além disso, novos indicadores ligados aos aspectos geométricos, podem ser investigados a fim de descrever com maior precisão a relação deles com o desempenho térmico.

Ademais, as discontinuidades observadas nos resultados e as incertezas relacionadas ao método prescritivo exigem que os resultados obtidos sejam avaliados por meio de simulações em regime dinâmico. Conclui-se, portanto, que o método prescritivo não é ideal à análise da influência da geometria das edificações sobre o desempenho. Por fim, há a necessidade de mais estudos para a verificação das hipóteses referidas neste estudo.

NOTAS

1. Artigo baseado na dissertação de L.O. SANTANA, intitulada “Otimização multiobjetivo da geometria de edificações residenciais energeticamente eficientes por meio de algoritmos genéticos”. Universidade Federal de Viçosa, 2016.
Apoio: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processo nº 471634/20140).
2. Ambientes de Permanência Prolongada (APP), conforme definição do RTQ-R (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2012).
3. O termo “eficiência” designa, neste estudo, a capacidade de uso dos recursos disponíveis da forma mais produtiva possível, através de climatização passiva.
4. O mínimo exigido pelo Código de Obras é 1/6 da área do piso (vão da abertura), arredondado para 17%, sem desconto das esquadrias ou consideração de potencial de iluminação ou ventilação.
5. A presença de paredes é representada por variáveis binárias (0 ou 1) na equação do método prescritivo do RTQ-R. Quando não existe uma parede em contato externo, a variável é reduzida a zero naquela orientação. Assim, diversos parâmetros dentro da equação são multiplicados por zero, o que provoca um salto nos valores do GHR. Esta descontinuidade nos valores é um aspecto limitante das análises.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15220: desempenho térmico de edificações*. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- EVINS, R. A review of computational optimisation methods applied to sustainable building design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.22, p.230-245, 2013.
- GRANADEIRO, V. *et al.* Envelope-related energy demand: A design indicator of energy performance for residential buildings in early design stages. *Energy and Buildings*, n.61, p.215-223, 2013.
- GÜRSOY, B.; ÖZKAR, M. Visualizing making: Shapes, materials, and actions. *Design Studies*, n.41, p.29-50, 2015.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. *Portaria n.18, de 16 de janeiro de 2012*. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro: INMETRO, 2012. Disponível em: <<http://www.pbenedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQR.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2016.
- KRZNARIC, R. *Sobre a arte de viver, lições da história para uma vida melhor*. Rio de Janeiro: Zahar, 2013.
- LIEBICH, T. A design grammar for architectural languages. *Automation in Construction*, v.2, n.4, p.261-273, 1994.
- SORGATO, M.J. *Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente*. 2009. 216f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- TAVARES, S.F. *Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras*. 2006. 225f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

LAILA OLIVEIRA SANTANA | ORCID iD: 0000-0002-7250-2283 | Universidade Federal de Viçosa | Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas | Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo | Av. P.H. Rolfs, s/n., Centro, 36570-900, Viçosa, MG, Brasil | Correspondência para/
Correspondence to: L.O. SANTANA | *E-mail:* <lailaufv@gmail.com>.

JOYCE CORRENA CARLO | ORCID iD: 0000-0003-3868-0307 | Universidade Federal de Viçosa | Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas | Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo | Viçosa, MG, Brasil.

LUCIANA BOSCO E SILVA | ORCID iD: 0000-0002-0015-2675 | Universidade Federal de Viçosa | Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas | Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo | Viçosa, MG, Brasil.

DENISE MÔNACO DOS SANTOS | ORCID iD: 0000-0002-3285-6044 | Universidade Federal de Viçosa | Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas | Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo | Viçosa, MG, Brasil.

ELABORAÇÃO

L.O. SANTANA participou na concepção/autoria, introdução, desenvolvimento, criação do modelo, análise de dados, análise dos critérios de eficiência energética, criação e confecção de gráficos e imagens. J.C. CARLO colaborou na concepção, desenvolvimento, análise de dados, análise dos critérios de eficiência energética, criação de gráficos, aprovação da versão final do artigo. L.B. SILVA na introdução, justificativa, discussão do modelo, desenvolvimento de estudos geométricos, aprovação da versão final do artigo. D.M. SANTOS, revisão, discussão do modelo, desenvolvimento de estudos geométricos, interpretação de dados, aprovação da versão final do artigo.

Como citar este artigo/How to cite this article

SANTANA, L.O. *et al.* Impacto da geometria de edificações sobre o desempenho térmico de acordo com o método prescritivo do RTQ-R. *Oculum Ensaios*, v.16, n.1, p.139-155, 2019. <http://dx.doi.org/10.24220/2318-0919v16n1a4036>

Recebido em
4/9/2017,
reapresentado
em 20/3/2018
e aprovado em
4/5/2018.