



Campus São Mateus  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO



Pré-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Universidade Federal do Espírito Santo

## SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE LUZ NATURAL EM DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS

COMPUTER SIMULATION OF NATURAL LIGHT IN DIFFERENT BRAZILIAN BIOCLIMATIC ZONES

SIMULACIÓN INFORMÁTICA DE LA LUZ NATURAL EN DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEÑAS

Jéssica Wanderley Souza do Nascimento<sup>1\*</sup>, Allefy Teles Sampaio<sup>2</sup>, Sílvio Lisbôa Schuster<sup>3</sup>, Sabiana Gilsane Mühlen dos Santos<sup>4</sup>, Mariana Ferreira Umbelino<sup>5</sup>, & Hugo Leonardo Menezes de Sales<sup>6</sup>

<sup>1 3 4</sup> Universidade Federal de Santa Maria, <sup>2</sup> Universidade de Fortaleza,

<sup>5</sup> Universidade Paulista, <sup>6</sup> Centro Universitário do Norte

<sup>1\*</sup> [jessica.souza@acad.ufsm.br](mailto:jessica.souza@acad.ufsm.br) <sup>2</sup> [telesallefy@gmail.com](mailto:telesallefy@gmail.com) <sup>3</sup> [silviolschuster@ufsm.br](mailto:silviolschuster@ufsm.br) <sup>4</sup> [sabiana.muhlen@acad.ufsm.br](mailto:sabiana.muhlen@acad.ufsm.br)

<sup>5</sup> [mariana.umbelino@hotmail.com](mailto:mariana.umbelino@hotmail.com) <sup>6</sup> [hugomsaesleo@gmail.com](mailto:hugomsaesleo@gmail.com)

### ARTIGO INFO.

Recebido: 21.11.2023

Aprovado: 29.12.2023

Disponibilizado: 06.02.2024

**PALAVRAS-CHAVE:** Eficiência energética; Métricas; Simulação.

**KEYWORDS:** Energy efficiency; Metrics; Simulation.

**PALABRAS CLAVE:** Eficiencia energética; Métricas; Simulación.

\*Autor Correspondente: Nascimento, J. W. S.

### RESUMO

A iluminação natural, quando presente nos ambientes internos das edificações, em concordância com as necessidades de cada local, traz benefícios à saúde humana. Por outro lado, quando está em discordância com o espaço, pode ter um efeito negativo, causando problemas como ofuscamento, reflexos, sombras e interferências térmicas. Nesse sentido, esta pesquisa visa simular, interpretar e comparar como a luz natural e seu desempenho lumínico, com base na métrica sDA (*Spatial Daylight Autonomy*), se comportam em um ambiente residencial nas cidades de Santa Maria/RS (zona bioclimática 2), Cuiabá/MT (zona bioclimática 7) e Fortaleza/CE (zona bioclimática 8). Foi utilizado o *software* DesignBuilder, tendo em vista os critérios adotados pelo RTQ-R para o processamento analítico mais detalhado dos dados. Os resultados obtidos nas simulações indicam que os índices de luz natural de melhor desempenho nos modelos analisados na faixa de 300 lux alcançaram 99,52% e foram posicionados na fachada oeste da cidade de Cuiabá/MT, enquanto os índices de pior desempenho atingiram 57,49% e foram simulados na fachada sul da cidade de Santa Maria/RS. Isso se deve ao fato de que, no Hemisfério Sul, as fachadas norte e oeste recebem mais luz solar direta do que as fachadas sul e leste.

### ABSTRACT

Natural lighting, when present in the internal environments of buildings, in accordance with the needs of each location, brings benefits to human health. On the other hand, when it is at odds with the space, it can have a negative effect, causing problems such as glare, reflections, shadows and thermal interference. In this context, this research aims to

simulate, interpret and compare how natural light and its luminous performance, based on the sDA (*Spatial Daylight Autonomy*) metric, behave in a residential environment in the cities of Santa Maria/RS (bioclimatic zone 2), Cuiabá/MT (bioclimatic zone 7) and Fortaleza/CE (bioclimatic zone 8). DesignBuilder software was used, taking into account the criteria adopted by the RTQ-R for more detailed analytical processing of the data. The results obtained in the simulations indicate that the best-performing natural light indices in the models analyzed in the 300 lux range reached 99.52% and were positioned on the west façade of the city of Cuiabá/MT, while the worst-performing indices reached 57.49% and were simulated on the south façade of the city of Santa Maria/RS. This is due to the fact that, in the Southern Hemisphere, the north and west façades receive more direct sunlight than the south and east façades.

### RESUMEN

La iluminación natural, cuando está presente en los ambientes internos de los edificios, de acuerdo con las necesidades de cada lugar, aporta beneficios a la salud humana. Por otro lado, cuando está en desacuerdo con el espacio, puede tener un efecto negativo, causando problemas como deslumbramiento, reflejos, sombras e interferencia térmica. En este contexto, esta investigación pretende simular, interpretar y comparar cómo la luz natural y su rendimiento lumínico, basado en la métrica sDA (*Spatial Daylight Autonomy*), se comportan en un ambiente residencial en las ciudades de Santa Maria/RS (zona bioclimática 2), Cuiabá/MT (zona bioclimática 7) y Fortaleza/CE (zona bioclimática 8). Se utilizó el *software* DesignBuilder, teniendo en cuenta los criterios adoptados por el RTQ-R para un tratamiento analítico más detallado de los datos. Los resultados obtenidos en las simulaciones indican que los mejores índices de luz natural en los modelos analizados en el rango de 300 lux alcanzaron el 99,52% y se situaron en la fachada oeste de la ciudad de Cuiabá/MT, mientras que los peores índices alcanzaron el 57,49% y se simularon en la fachada sur de la ciudad de Santa Maria/RS. Esto se debe al hecho de que, en el hemisferio sur, las fachadas norte y oeste reciben más luz solar directa que las fachadas sur y este.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país continental com uma vasta variedade de biomas, topografia e imensa diversidade climática, o que se deve, conseqüentemente, a inúmeros fatores como sua fisionomia geográfica, sua extensão territorial, a dinâmica das massas de ar e seu relevo. Em particular, a dinâmica das massas de ar é um fator extremamente importante, pois atua diretamente sobre a temperatura e a pluviosidade, causando consideráveis diferenças climáticas regionais (Faccin *et al.*, 2022).

Sendo assim, a iluminação pode ser caracterizada como uma das fontes de luz proveniente diretamente do sol, com propriedades de reprodução de cores que beneficiam o bem-estar humano e a prática visual. Desse modo, as fachadas dos edifícios desempenham um papel relevante em termos de sustentabilidade ambiental, pois têm um impacto direto em sua performance lumínica e térmica. Na maioria dos casos, encontrar um método para equilibrar esses índices de desempenho favorece a tomada de decisões na busca pela melhoria do conforto dos edifícios para seus ocupantes (Souza Nascimento, 2019; Queiroz *et al.*, 2021; Zwirtes *et al.*, 2022a; Nascimento *et al.*, 2023).

Conforme estudos, a luz do dia é considerada um dos mais importantes reguladores do ritmo circadiano humano e, quando adequada aos ambientes internos dos edifícios, melhora o comportamento dos usuários, bem como aspectos fisiológicos, funcionais e psicológicos. Contudo, em determinadas circunstâncias, quando está em discordância com o espaço, pode ter um efeito negativo, causando problemas como ofuscamento, reflexos, sombras e interferência térmica (Sampaio, Nascimento, & Sousa, 2020; Souza Nascimento & Sampaio, 2020; Souza Nascimento, Santos, & Sampaio, 2021; Sampaio, Souza Nascimento, & Santos, 2022; Santos *et al.*, 2022; Zwirtes *et al.*, 2022b).

Em vista disso, a utilização de ferramentas de simulação computacional é uma alternativa funcional para identificar e analisar aspectos como as variações do céu e a posição do sol. Um exemplo de *software* de simulação computadorizada é o DesignBuilder, que possibilita a modelagem de espaços e também o cálculo de índices como o de luz natural (Bajenaru, Damian, & Frunzulica, 2016).

Nesse encadeamento é possível analisar a intensidade da iluminação natural em edifícios por meio de diferentes métodos, sendo o mais utilizado o fator médio de luz do dia (DF), oriundo do Reino Unido e usado principalmente para aferir a luz natural em condições nubladas. Além disso, a análise do desempenho dinâmico da iluminação natural em edifícios também se torna uma quantidade a ser avaliada, para a qual as técnicas de autonomia da luz do dia (DA) e autonomia espacial da luz do dia (sDA) podem ser aplicadas (Sepúlveda *et al.*, 2020).

Particularmente quando se aplica o sDA, este pode ser caracterizado, segundo a IES (Illuminating Engineering Society), como um método de cálculo que busca avaliar a eficiência anual dos níveis de luminância natural em ambientes internos de edifícios (Ekici *et al.*, 2021). Essa quantidade é determinada pela porcentagem de área útil que recebe um mínimo de 300 lux em 50% das horas anuais em que o ambiente está ocupado, sendo que áreas com índices superiores a 50% são consideradas bem iluminadas (Košir, Iglič, & Kunič, 2018).

Baseado nessa conjuntura, esta pesquisa visa simular, interpretar e comparar como a luz natural e seu desempenho lumínico, com base na métrica sDA (*Spatial Daylight Autonomy*), se comportam em uma sala residencial unifamiliar de interesse social em três cidades brasileiras em diferentes localizações, Santa Maria/RS (zona bioclimática 2), Cuiabá/MT (zona bioclimática 7) e Fortaleza/CE (zona bioclimática 8) e, eventualmente, auxiliar pesquisadores e projetistas a compreender o comportamento da luz solar no ambiente construído, manipulando técnicas avançadas para criar soluções e previsões.

## 2. METODOLOGIA

Buscando caracterizar o comportamento do caso base, foram selecionadas três zonas bioclimáticas brasileiras distintas: zona 2, onde está localizada a cidade gaúcha de Santa Maria; zona 7, à qual pertence a cidade de Cuiabá, no Mato Grosso; e zona 8, à qual a cidade cearense de Fortaleza faz parte, para verificar se há alguma relação entre elas.

Conforme Benevides (2020), os arquivos do TMY (*Typical Meteorological Year*) são compostos por dados mensais de diferentes anos e não levam em conta os extremos de temperatura. Já o arquivo TMYx utilizado neste estudo foi desenvolvido por Crawley & Lawrie (2023) a partir de dados climáticos horários entre os anos de 2003 a 2017, e é considerado como as condições climáticas mais atuais dentre os arquivos climáticos disponíveis para simulação. Entretanto, para a cidade de Santa Maria/RS, o sistema não fornece o arquivo climático, sendo necessário importá-lo de outra fonte externa.

Portanto, antes de importar o arquivo da base de dados externa, foi necessário fazer o *download* dos arquivos procedentes do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), acessado por meio do LabEEE/UFSC (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina), que disponibiliza arquivos nos formatos .clm, .rain, .epw, .sat, .ddy e .wea, que incluem todos os dados necessários para a realização da simulação na cidade gaúcha de Santa Maria.

### 2.1 Caracterização do clima nas cidades da simulação

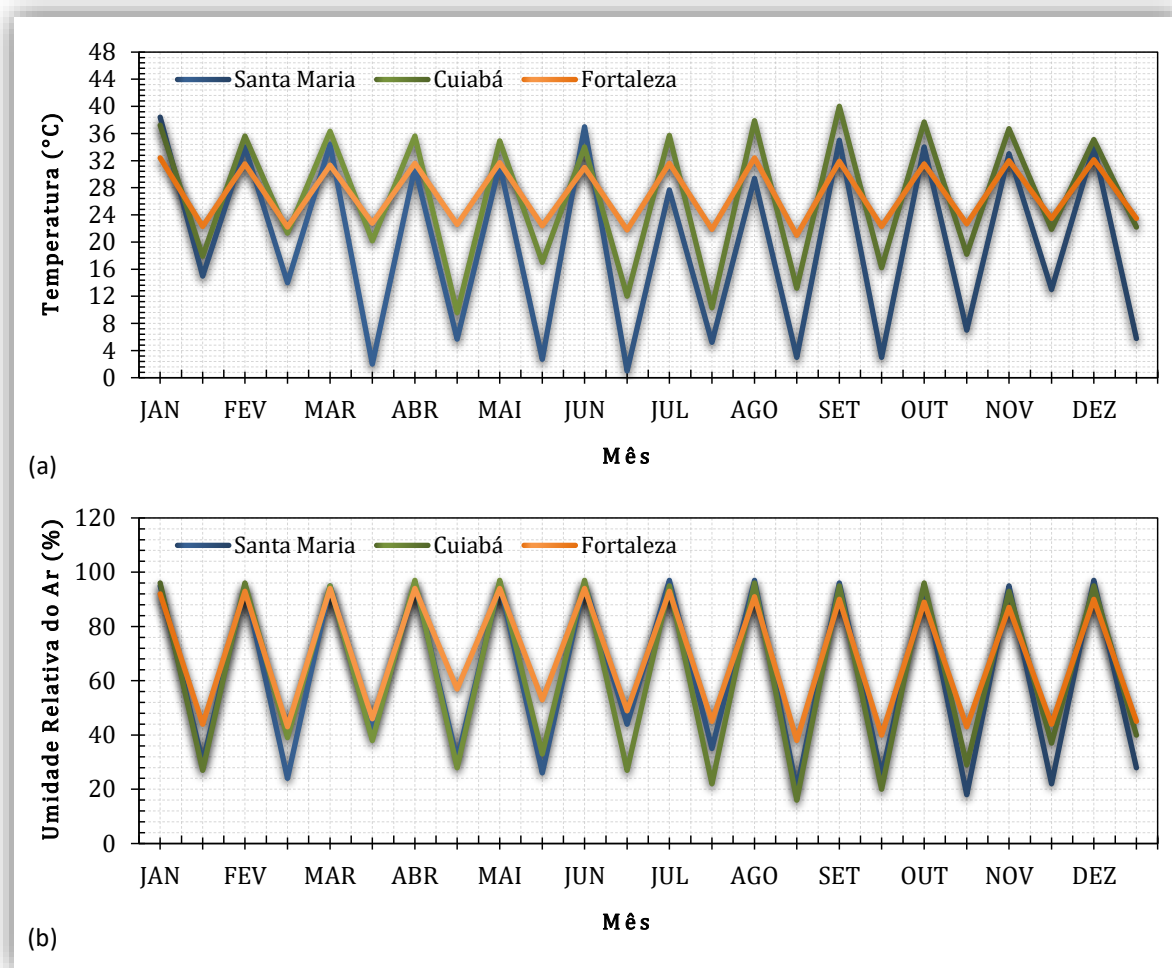
Para atingir os resultados propostos, foi aplicada uma média aritmética simples tanto à temperatura quanto à umidade para os anos de 2003 a 2017, empregando dados retirados dos arquivos climáticos do INMET (2018).

A cidade de Santa Maria/RS possui um clima com estações bem definidas, atingindo 1°C no inverno e 38,4°C no verão. Quanto à umidade, apresenta umidade relativa do ar entre 74% e 84%, com uma média anual de 79,33%. Ao passo que a cidade de Cuiabá/MT tem temperaturas que variam de 9,6°C a 40°C e umidade relativa do ar que varia de 59% a 79%, com média anual de 70,58%. Por fim, a cidade de Fortaleza/CE tem temperaturas que variam entre 21°C a 32,4°C e umidade média do ar de 75,83% e extremos de 68% e 85%. A Figura 1 ilustra o comportamento das temperaturas médias e representa a média da umidade relativa do ar nas três cidades selecionadas.

Deve-se observar que, conforme a classificação de Köppen, que separou a Terra em climas regionais, a cidade de Santa Maria/RS se encontra na zona Cfa – Subtropical Úmido, enquanto

as cidades de Cuiabá/MT e Fortaleza/CE na zona Aw – Tropical Quente, com uma estação de inverno seca (Sentelhas *et al.*, 2014).

**Figura 1.** Médias nas cidades de Santa Maria, Cuiabá e Fortaleza (a) Temperaturas; (b) Umidade relativa do ar.



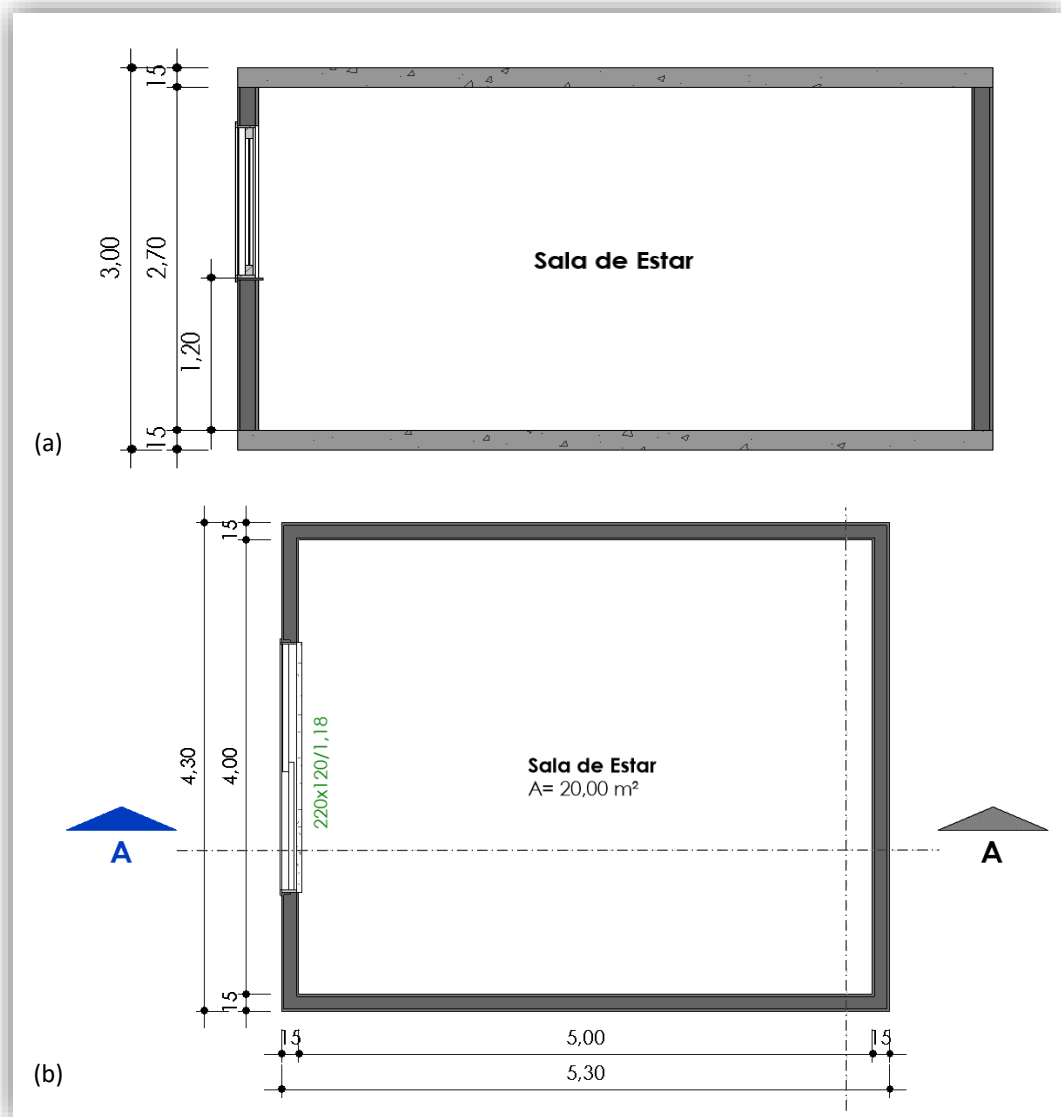
Fonte: Autores (2024).

## 2.2 Modelagem

Inicialmente, é necessário modelar a sala em questão antes de executar as simulações no *software*. Essa modelagem é essencial para determinar as medidas que serão utilizadas, atendendo aos requisitos do RTQ-R (2012), como as dimensões mínimas do espaço, a porcentagem de refletância das superfícies e os horários em que a luz natural está disponível.

O objeto de estudo a ser avaliado nesta pesquisa é uma sala de estar com área interna de 20m<sup>2</sup>, com medidas internas de 4,00m de largura, 5,00m de comprimento, pé-direito de 2,70m e espessuras externas da parede e laje de 0,15m. A janela tem uma área de 2,64m<sup>2</sup>, sendo 2,20m de largura, 1,20m de altura e peitoril de 1,20m. A janela está posicionada em uma das paredes com a menor área, 10,80m<sup>2</sup> (4,00m×2,70m), correspondendo a aproximadamente 24,4% de sua área. O vidro utilizado na janela é do tipo simples de 3mm, considerado um item de baixo custo e amplamente utilizado em edificações brasileiras (Lamberts, Dutra, & Pereira, 2014). Na Figura 2 e Tabela 1 é possível visualizar todos esses aspectos mencionados.

Figura 2. Sala de estar (a) Planta baixa; (b) Corte AA.



Fonte: Autores (2024).

Fazendo uma pequena ressalva que, conforme o RTQ-R (2012), o comprimento máximo do ambiente a ser simulado deve ser 2,4 vezes a altura da verga. Em contrapartida, o código de obras das cidades investigadas estipula 2,4m como a altura mínima da verga.

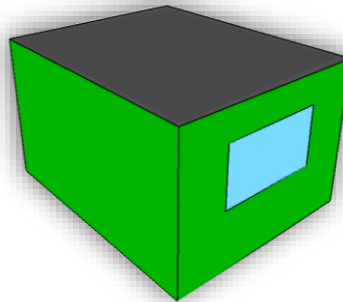
**Tabela 1.** Dimensões aplicadas na modelagem.

Elemento	Medidas
Medida interna	5,00 × 4,00m
Medida externa	5,30 × 4,30m
Espessura das paredes	0,15m
Espessura das lajes	0,15m
Pé-direito	2,70m
Verga	2,40m
Vidro	3mm
Janela	$2,2 \times 1,20 / 1,20 = 2,64\text{m}^2$

Fonte: Autores (2024).

A modelagem foi realizada diretamente no *software* DesignBuilder (Figura 3) com um ambiente de sala de estar retangular e uma abertura de janela com uma área menor foram inseridos em um espaço tridimensional com uma área total de 20m<sup>2</sup> e as seguintes dimensões de espaço conforme a Tabela 1.

**Figura 3.** 3D da modelagem da sala de estar.



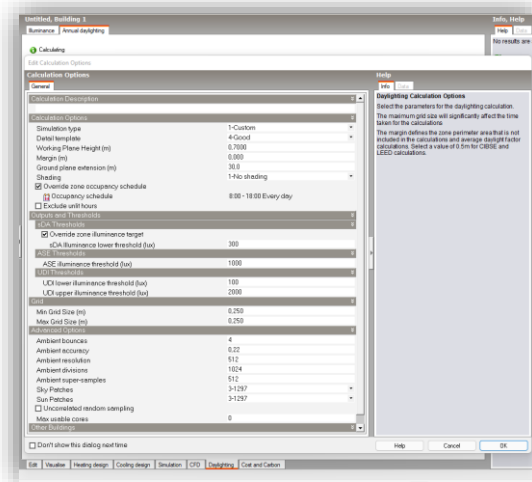
Fonte: Autores (2024).

### 2.3 Configurações do *software*

Uma vez concluída a modelagem, antes de iniciar as simulações, várias configurações tiveram de ser feitas no DesignBuilder, sendo as principais: definir a espessura das paredes e lajes; o tipo de vidro a ser aplicado na janela conforme a Tabela 1 no item 2.2; indicar a porcentagem de refletância dos materiais aplicados nas paredes e no piso; e inserir os arquivos climáticos de cada cidade a ser estudada. Deve-se observar que não é possível inserir mais de um arquivo climático por vez, por isso foi necessário realizar as simulações para cada cidade separadamente, inserindo o respectivo arquivo climático antes de iniciar cada grupo de simulações.

As outras configurações utilizadas no *software* e necessárias para realizar a análise da iluminação natural do ambiente construído, adotando a métrica sDA, estão descritas na Figura 4. Os sensores foram dispostos em uma malha quadriculada, *grid* de 0,25m × 0,25m, e posicionados a uma altura de 0,70m em relação ao piso. Uma programação diária de uso do ambiente foi configurada das 8h às 18h, com 4 reflexões aplicadas, com uma precisão de 0,22, resolução do ambiente de 512 e 1024 divisões ambientais.

**Figura 4.** Configurações aplicadas para analisar a iluminação natural, métrica sDA, no DesignBuilder.



Fonte: Autores (2024).

## 2.4 Simulações

Em primeiro lugar, foi necessário realizar um total de doze simulações para obter os resultados de sDA (*Spatial Daylight Autonomy*), que foram divididos em três grupos, um para cada cidade. Dessa forma, foram geradas quatro simulações em cada grupo, sendo uma para cada orientação: norte, sul, leste e oeste (Tabela 2).

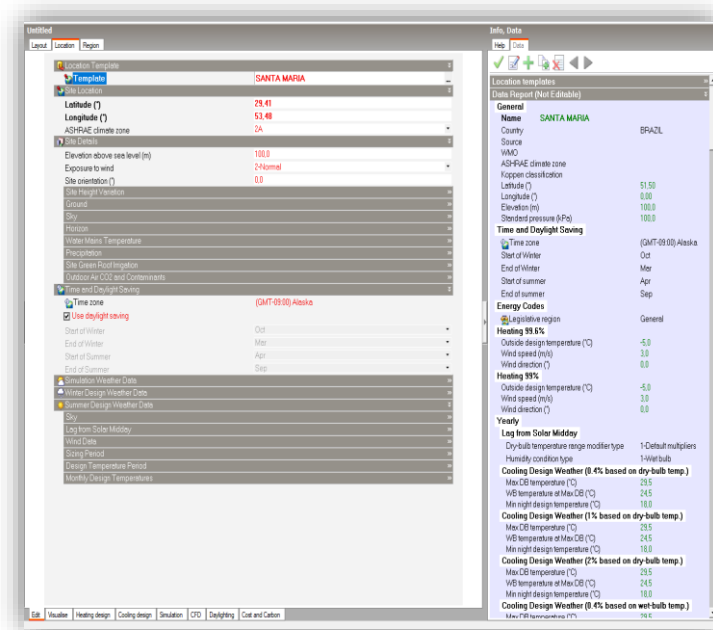
**Tabela 2.** Dimensões aplicadas na modelagem.

Simulação	Cidade	Orientação da Janela	Tempo de Simulação (s)
1	Santa Maria	Norte	105
2	Santa Maria	Sul	104
3	Santa Maria	Leste	105
4	Santa Maria	Oeste	108
5	Cuiabá	Norte	110
6	Cuiabá	Sul	108
7	Cuiabá	Leste	111
8	Cuiabá	Oeste	104
9	Fortaleza	Norte	106
10	Fortaleza	Sul	111
11	Fortaleza	Leste	108
12	Fortaleza	Oeste	105

Fonte: Autores (2024).

Em segundo lugar, para iniciar cada rodada de simulações no modelo, o arquivo climático para a respectiva cidade a ser simulada foi selecionado no *software*. Assim, para as cidades de Cuiabá/MT e Fortaleza/CE, foram utilizados os arquivos climáticos fornecidos na interface principal do *software* DesignBuilder (Figura 4 no item 2.3). Contudo, para a cidade de Santa Maria/RS, o *software* não fornece o arquivo climático, sendo necessário importá-lo de outra fonte externa, como mencionado no tópico 2 deste estudo (Figura 5).

**Figura 5.** Configurações de localização da cidade de Santa Maria no *Software* DesignBuilder.



Fonte: Autores (2024).

Por fim, os parâmetros utilizados para a simulação no ambiente residencial unifamiliar, adotando os indicadores do RTQ-R (2012), foram de 60% para a refletância do teto e a reflexão da luz interna. No entanto, a superfície do teto e as demais paredes tiveram uma refletância de 50%. Ressalta-se que o ambiente externo foi considerado como desconstruído em seu entorno.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

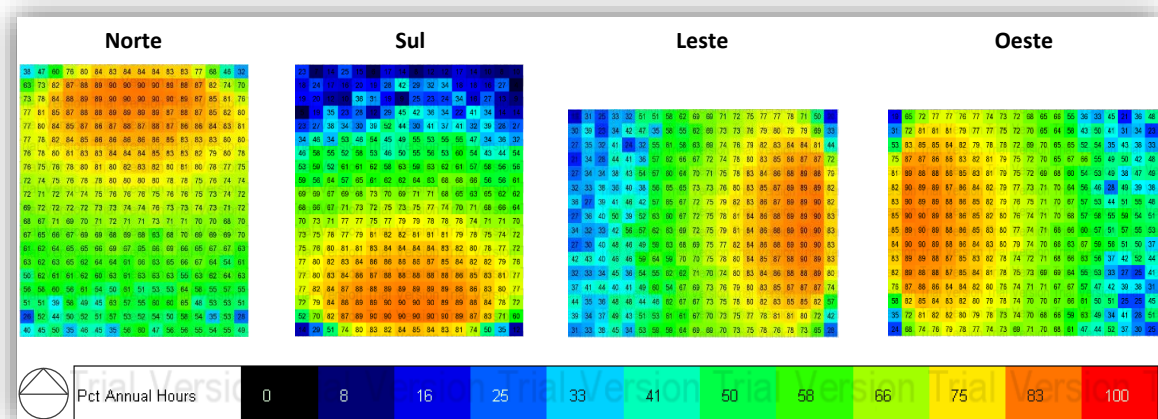
Os resultados obtidos nas simulações determinam que os índices de luz natural na faixa de 300 lux nos modelos analisados para a fachada norte atingiram 70,53% na cidade de Santa Maria/RS, sendo a fachada com o maior valor para essa cidade em questão (Figura 6). Por outro lado, em Cuiabá/MT alcançou 93,72% (Figura 7), sendo a fachada com o segundo maior valor, atrás apenas da fachada oeste, e em Fortaleza/CE 88,89% (Figura 8). Isso indica que os índices de iluminação natural no ambiente em questão apresentam bom desempenho, estão bem distribuídos e são suficientes para substituir a iluminação artificial.

Verifica-se principalmente que na fachada sul, a cidade de Santa Maria/RS foi a única das três cidades analisadas que não apresentou valores satisfatórios, atingindo 57,49% (Figura 6). Já a cidade de Cuiabá/MT, por sua vez, obteve 83,09% (Figura 7) e Fortaleza/CE 91,30% (Figura 8). Nesse caso, a cidade gaúcha foi a única em que a fachada leste não atendeu aos valores recomendados.

Quanto à fachada leste, a mesma atingiu o terceiro melhor desempenho de iluminação natural nas três cidades analisadas. Em Santa Maria/RS alcançou 58,45% (Figura 6), Cuiabá/MT obteve 92,27% (Figura 7) e Fortaleza/CE 94,69% (Figura 8).

Conforme os últimos dados, a fachada oeste produziu os melhores resultados nas cidades analisadas, com exceção de Santa Maria/RS, que alcançou 66,67%, e só teve um desempenho lumínico inferior ao da fachada norte (Figura 6). Em contrapartida, a cidade de Cuiabá/MT atingiu 99,52% (Figura 7) e Fortaleza/CE obteve 99,03% (Figura 8). Apontando que as fachadas norte e oeste obtiveram melhores resultados de sDA na faixa de 300 lux do que as fachadas sul e leste nas três cidades analisadas. Isso se deve ao fato de que, no Hemisfério Sul, as fachadas norte e oeste recebem mais luz solar direta do que as fachadas sul e leste.

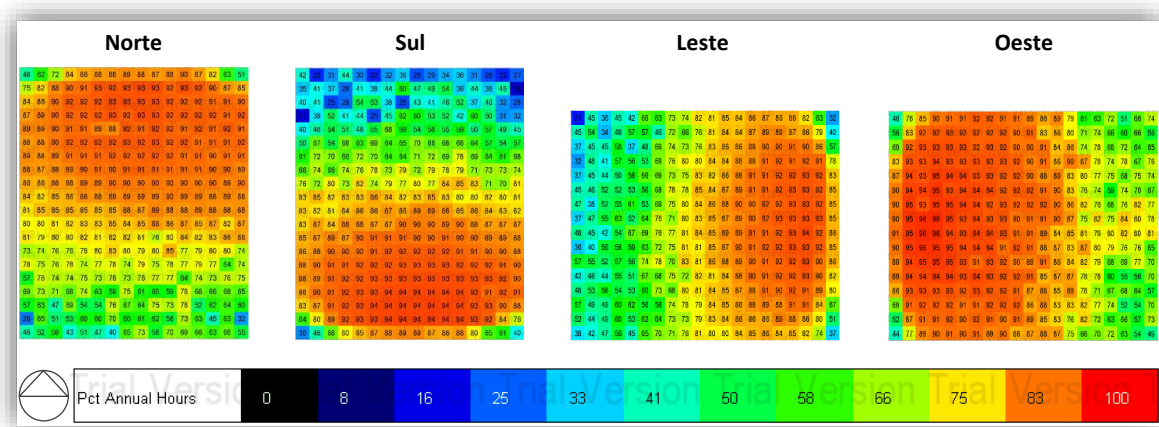
Figura 6. Resultados na cidade de Santa Maria quando a janela está voltada para o norte, sul, leste e oeste.



Fonte: Autores (2024).

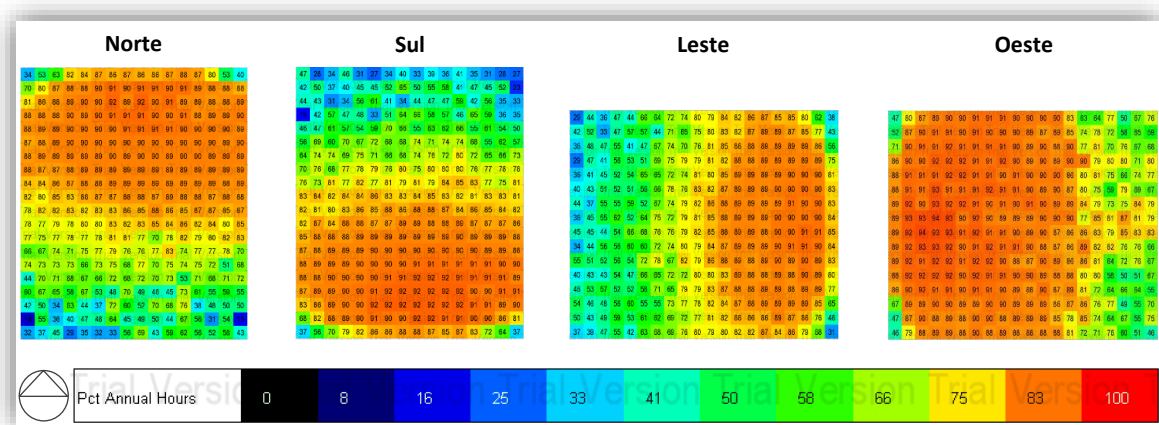


Figura 7. Resultados na cidade de Cuiabá quando a janela está voltada para o norte, sul, leste e oeste.



Fonte: Autores (2024).

Figura 8. Resultados na cidade de Fortaleza quando a janela está voltada para o norte, sul, leste e oeste.

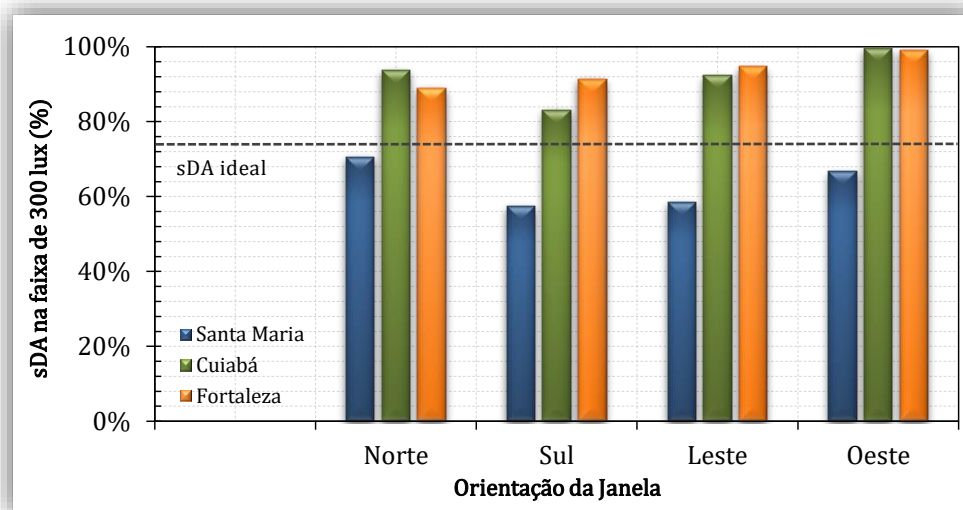


Fonte: Autores (2024).

Deste modo, na cidade de Santa Maria/RS, o índice de desempenho lumínico foi menor do que nas cidades de Cuiabá/MT e Fortaleza/CE, exceto na fachada norte (Figura 6). Isso se deve, em parte, ao fato dos resultados de Santa Maria/RS estarem relacionados à sua latitude, onde está mais distante do equador e, conseqüentemente, recebe menos luz solar do que as outras duas cidades analisadas, que estão mais próximas do equador. Referente aos resultados das simulações para as cidades de Cuiabá/MT (Figura 7) e Fortaleza/CE (Figura 8), as análises não indicaram nenhuma diferença significativa entre as mesmas.

Além disso, também foi possível comparar o melhor e o pior caso simulado. O modelo com o melhor resultado analisado na faixa de 300 lux obteve 99,52% e foi posicionado na fachada oeste da cidade de Cuiabá/MT, onde se pode observar que o fundo do ambiente atinge valores satisfatórios de iluminação natural e a parte mais quente indica uma alta concentração de luz próxima à janela. Por outro lado, o modelo com o pior resultado atingiu 57,49% e foi simulado na fachada sul da cidade de Santa Maria/RS, onde se pode observar que o fundo da sala de estar não recebe luz natural de forma eficiente e os valores são satisfatórios do meio do piso até próximo à janela (Figura 9).

**Figura 9.** Valores de sDA na faixa de 300 lux para todas as fachadas nas três cidades analisadas.



Fonte: Autores (2024).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante ressaltar que o critério sDA, quando aplicado, pode ser caracterizado como um método de cálculo que busca avaliar a eficiência anual dos níveis de luminância natural no interior dos edifícios. Essa quantidade é determinada pela porcentagem de área útil que recebe um mínimo de 300 lux em 50% das horas anuais em que o ambiente está ocupado, sendo que áreas com índices superiores a 50% são consideradas bem iluminadas. Nesse sentido, o intuito desta pesquisa foi auxiliar pesquisadores e projetistas a compreender o comportamento da luz solar no ambiente construído, manipulando técnicas avançadas para criar soluções e previsões.

Diante do exposto, ficou evidente que a cidade de Santa Maria/RS possui um clima com estações bem definidas, chegando a 1°C no inverno e 38,4°C no verão. Quanto à umidade, apresenta uma umidade relativa do ar entre 74% e 84%, com uma média anual de 79,33%. A cidade de Cuiabá/MT tem temperaturas que variam de 9,6°C a 40°C e umidade relativa do ar que varia de 59% a 79%, com média anual de 70,58%. Por fim, a cidade de Fortaleza/CE contém temperaturas que variam entre 21°C a 32,4°C e umidade média do ar de 75,83% e extremos de 68% e 85%.

Assim, na cidade de Santa Maria/RS, o índice de desempenho lumínico foi menor do que nas cidades de Cuiabá/MT e Fortaleza/CE, exceto na fachada norte. Além disso, também foi possível comparar os melhores e os piores casos simulados e os índices de luz natural com melhor desempenho nos modelos analisados na faixa de 300 lux alcançaram 99,52% e foram posicionados na fachada oeste da cidade de Cuiabá/MT, enquanto os índices com pior desempenho atingiram 57,49% e foram simulados na fachada sul da cidade de Santa Maria/RS.

Isso se deve, em parte, ao fato de que os resultados de Santa Maria/RS estão relacionados à sua latitude, onde está mais distante do equador e, conseqüentemente, recebe menos luz solar do que as outras duas cidades analisadas, que estão mais próximas do equador. Referente aos resultados das simulações para as cidades de Cuiabá/MT e Fortaleza/CE, as análises não indicaram nenhuma diferença significativa entre elas.

Com base nessas informações, a pesquisa encontrou uma limitação na ausência de um entorno construído na simulação, o que poderia alterar os resultados obtidos. Em vista disso, para pesquisas futuras, sugere-se a utilização de outras métricas, além da sDA, para avaliar o desempenho da iluminação natural.

## REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005). *NBR 15220-3: Desempenho Térmico de Edificações, Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social*, Rio de Janeiro.
- Bajenaru, N., Damian, A., & Frunzulica, R. (2016). Evaluation of the energy performance for a nZEB office building under specific climatic conditions. *Energy Procedia*, 85(1), 26-34. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.271>
- Benevides, M. (2020). *Análise de conforto e desempenho térmico de habitações unifamiliares no semiárido mineiro* (Monografia de Especialização da Escola de Arquitetura). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil. <http://hdl.handle.net/1843/38589>
- Crawley, D. B., & Lawrie, L. K. (2023). *Climate One Building. Repository of free climate data for building performance simulation*. <http://climate.onebuilding.org>
- Cuiabá. *Lei complementar nº 102, de 03 de dezembro de 2003*. Altera a Parte III da Lei Complementar Nº 004/92 Código de Obras e Edificações no Município de Cuiabá. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano Sustentável, Cuiabá, 03 de dezembro de 2003.
- Ekici, B. et al. (2021). Multi-zone optimisation of high-rise buildings using artificial intelligence for sustainable metropolises. Part 1: Background, methodology, setup, and machine learning results. *Solar Energy*, 224(1), 373-389. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.05.083>
- ELETOBRAS (2012). *Manual para a aplicação do RTQ-R*. Ministérios de Minas e Energia, 1(18), 201-202. <https://www.pbeedifica.com.br>
- Faccin, C. et al. (2022). Análise estatística de séries de temperatura do ar da reanálise Merra-2: estudo de caso – Rio Grande do Sul. *Anais do 36º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Fortaleza, CE, Brasil, 1-12p. <https://proceedings.science/anpet-2022/trabalhos/analise-estatistica-de-series-de-temperatura-do-ar-da-reanalise-merra-2-estudo-d?lang=pt-br>
- Fortaleza. *Lei nº 5.530 de 17 de dezembro de 1981*. Dispõe sobre o Código de Obras e Posturas do município de Fortaleza e dá outras providências. Procuradoria Geral do Município, Fortaleza, 17 de dezembro de 1981.
- Košir, M., Igljč, N., & Kunič, R. (2018). Optimisation of heating, cooling and lighting energy performance of modular buildings in respect to location's climatic specifics. *Renewable energy*, 129(1), 527-539. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.026>
- LabEEE/UFSC (2018). *Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina*. Arquivos Climáticos. Recuperado de <https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>
- Lamberts, R., Dutra, L., & Pereira, F. O. R. (2014). *Eficiência energética na arquitetura*. 3ª Ed. São Paulo, SP: PW Editores. <https://labeee.ufsc.br/pt-br/publicacoes/livros>
- Nascimento, J. W. S. do. et al. (2023). The role of occupational safety in road works: Implementation of preliminary risk analysis in the execution of asphalt resurfacing. *Research, Society and Development*, 12(11), e129121143778. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i11.43778>
- Queiroz, F. M. et al. (2021). *Causes and risks of pathological manifestations in the historic facades of Manaus*. Cap. 10, 71-79pp. Belo Horizonte, MG: Editora Poisson. <https://doi.org/10.36229/978-65-5866-082-8.CAP.10>
- Sampaio, A. T., Nascimento, J. W. S., & Sousa, D. S. V. (2020). *Patologia de fachadas: revisão de literatura*. Cap. 15, 178-187pp. Ponta Grossa, PR: Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.87320210915>
- Sampaio, A. T., Souza Nascimento, J. W., & Santos, S. G. M. (2022). A aplicabilidade rentável das estacas pré-moldadas de concreto armado. *Revista Eletrônica Acervo Científico*, 40(1), 25-26. <https://doi.org/10.25248/anais.e9587.2022>
- Santa Maria. *Lei complementar nº 070, de 04 de novembro de 2009*. Dispõe sobre o código de Obras e Edificações do Município de Santa Maria e dá outras providências. Secretaria de Município de Gestão e Modernização Administrativa, Santa Maria, 04 de novembro de 2009.
- Santos, S. G. M. et al. (2022). Diagnóstico e recomendações para manifestações patológicas em uma edificação residencial unifamiliar. *Anais do V Congresso Brasileiro de Patologia das Construções*, Gramado, RS, Brasil, 583-594p. <https://doi.org/10.4322/CBPAT.2022.051>
- Sentelhas, P. C. et al. (2014). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Sepúlveda, A. et al. (2020). Analyzing the fulfillment of daylight and overheating requirements in residential and office buildings in Estonia. *Building and Environment*, 180(1), 107036. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107036>
- Souza Nascimento, J. W. (2019). O efeito da utilização de biomateriais na restauração de estruturas de concreto empregando bactérias como agentes de cura. *Anais do 1º Congresso Online de Engenharia de Materiais*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1p. <https://eventos.congresso.me/eventos/engmatcon/anais>
- Souza Nascimento, J. W., & Sampaio, A. T. (2020). Characterization of concrete coating using bacteria as a floor regeneration agent. *Anais do 62º Congresso Brasileiro do Concreto*, Florianópolis, SC, Brasil, 1-15p. <https://www.ibracon.org.br/eventos/62cbc/artigos/62cbc/artigos>
- Souza Nascimento, J. W., Santos, S. G. M., & Sampaio, A. T. (2021). Variação dos riscos ergonômicos no ambiente de trabalho em um canteiro de obras. *Anais do 23º Congresso Nacional de Engenharia de Segurança do Trabalho*, Londrina, PR, Brasil, 138-141p. <https://www.anest.org.br>
- Zwirtes, G. L. et al. (2022a). Análise preliminar de risco e análise ergonômica do trabalho em laboratório de anatomia animal. *Anais do XXVIII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica*, Santa Maria, RS, Brasil, 1-8p. <https://eventos.abcm.org.br/anais>
- Zwirtes, G. L. et al. (2022b). Práticas de aprendizagem em ergonomia e segurança do trabalho – AET e APR em laboratório de anatomia animal. *Anais da Semana Internacional das Engenharias e Economia da FAHOR*, Horizontina, RS, Brasil, 1-13p. <https://doi.org/10.29327/170181.2022-8>