

A Influência de Brises Solares e Cores de Envoltória na Eficiência Energética de Edifícios de Escritório

Rangel Girardelo Vidmar

Mestre em Arquitetura e Urbanismo, ATITUS, Brasil.

rangelvidmar@gmail.com

Eduardo Grala da Cunha

Professor Doutor, UFPel, Brasil.

eduardogralacunha@yahoo.com.br

Tháisa Leal da Silva

Professora Doutora, ATITUS, Brasil.

thaisa.silva@atitus.edu.br

A Influência de Brises Solares e Cores de Envoltória na Eficiência Energética de Edifícios de Escritório

RESUMO

Objetivo - Este trabalho visa analisar a influência das cores da envoltória e da utilização de brises solares em um modelo de edifício de escritórios localizado geograficamente em Passo Fundo – RS, com posição solar leste/oeste para as janelas.

Metodologia - Foram realizadas simulações computacionais utilizando o software EnergyPlus, tomando como base um modelo de edifício de escritórios. Primeiramente, estabeleceu-se e analisou-se um modelo de referência, o qual serviu de parâmetro para comparação. Posteriormente, efetuaram-se novas simulações, contemplando alterações na cor da envoltória e a inserção de brises solares, a fim de avaliar o impacto dessas modificações no desempenho energético do edifício.

Originalidade/relevância - O estudo aborda uma lacuna existente na literatura ao analisar, de forma integrada, o impacto das cores da envoltória e do uso de brises solares em edifícios de escritórios situados em zonas bioclimáticas específicas, como a Zona Bioclimática 2, atual Zona Bioclimática 1M, onde está localizada a cidade de Passo Fundo – RS, contribuindo para o desenvolvimento de soluções arquitetônicas mais eficientes e adaptadas ao contexto brasileiro.

Resultados – As cores de envoltória bege e marrom-escuro apresentaram um aumento no consumo de energia elétrica de 2,91% e 8,01%, respectivamente, em comparação ao modelo de referência testado com a cor branca. Além disso, os brises solares leste e oeste juntos reduziram o consumo de energia elétrica do modelo em 4,01%.

Contribuições teóricas/metodológicas - O estudo amplia o entendimento sobre a influência da cor da envoltória e dos brises solares no desempenho energético de edifícios de escritórios, oferecendo um modelo metodológico replicável de simulação no EnergyPlus que integra variáveis arquitetônicas e climáticas específicas.

Contribuições sociais e ambientais - Os resultados fornecem subsídios para projetos arquitetônicos mais eficientes, capazes de reduzir o consumo de energia elétrica e, conseqüentemente, as emissões associadas à geração de energia, contribuindo para a mitigação de impactos ambientais e para o aumento do conforto térmico dos usuários.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência Energética. Brises solares. Simulação computacional.

The Influence of Solar Blinds and Building Colors on the Energy Efficiency of Office Buildings

ABSTRACT

Objective - This work aims to analyze the influence of the building envelope cores and the use of solar louvers in an office building model geographically located in Passo Fundo – RS, with an east/west solar orientation for the windows.

Methodology - Computer simulations were performed using EnergyPlus software, based on an office building model. First, a reference model was distributed and analyzed, which served as a parameter for comparison. Subsequently, new simulations were performed, including changes in the envelope color and the insertion of solar louvers, in order to evaluate the impact of these modifications on the building's energy performance.

Originality/Relevance - This study addresses an existing gap in the literature by analyzing, in an integrated way, the impact of building envelope cores and the use of solar louvers in office buildings located in specific bioclimatic zones, such as Bioclimatic Zone 2, currently Bioclimatic Zone 1M, where the city of Passo Fundo – RS is located, contributing to the development of more efficient and appropriate architectural solutions for the Brazilian context.

Results – Beige and dark brown building envelope colors showed an increase in electricity consumption of 2.91% and 8.01%, respectively, compared to the reference model tested with the white color. In addition, the east and west sunshades together reduced the model's electricity consumption by 4.01%.

Theoretical/methodological contributions - This study expands the understanding of the influence of building envelope color and solar shading on the energy performance of office buildings, offering a replicable methodological simulation model in EnergyPlus that integrates specific architectural and climatic variables.

Social and environmental contributions - The results provide support for more efficient architectural designs, capable of reducing electricity consumption and, consequently, emissions associated with energy generation, contributing to the mitigation of environmental impacts and to increasing the thermal comfort of users.

KEYWORDS: Energy Efficiency. Solar Sunshades. Computer Simulation.

La influencia de las persianas solares y los colores de los edificios en la eficiencia energética de los edificios de oficinas

RESUMEN

Objetivo - Este trabajo busca analizar la influencia de los colores de la envolvente del edificio y el uso de persianas solares en un modelo de edificio de oficinas ubicado en Passo Fundo, RS, con ventanas orientadas al este/oeste.

Metodología - Se realizaron simulaciones por computadora con el software EnergyPlus, basadas en un modelo de edificio de oficinas. Inicialmente, se estableció y analizó un modelo de referencia, que sirvió como parámetro de comparación. Posteriormente, se realizaron nuevas simulaciones, incluyendo cambios en el color de la envolvente del edificio y la inserción de persianas solares, para evaluar el impacto de estas modificaciones en el desempeño energético del edificio.

Originalidad/Relevancia - Este estudio aborda una laguna en la literatura al analizar, de forma integrada, el impacto de los colores de la envolvente del edificio y el uso de persianas solares en edificios de oficinas ubicados en zonas bioclimáticas específicas, como la Zona Bioclimática 2, actualmente Zona Bioclimática 1M, donde se ubica la ciudad de Passo Fundo, RS, contribuyendo al desarrollo de soluciones arquitectónicas más eficientes y adaptadas al contexto brasileño.

Resultados - Los colores beige y marrón oscuro de la envolvente del edificio mostraron un aumento del consumo eléctrico del 2,91 % y el 8,01 %, respectivamente, en comparación con el modelo de referencia probado con el color blanco. Además, las persianas este y oeste, en conjunto, redujeron el consumo eléctrico del modelo en un 4,01 %.

Aportaciones teóricas/metodológicas - Este estudio amplía la comprensión de la influencia del color de la envolvente del edificio y el sombreado solar en el desempeño energético de los edificios de oficinas, ofreciendo un modelo de simulación metodológica replicable en EnergyPlus que integra variables arquitectónicas y climáticas específicas.

Contribuciones sociales y ambientales - Los resultados respaldan diseños arquitectónicos más eficientes, capaces de reducir el consumo eléctrico y, en consecuencia, las emisiones asociadas a la generación de energía, contribuyendo a la mitigación de los impactos ambientales y a aumentar el confort térmico de los usuarios.

PALABRAS CLAVE: Eficiencia energética. Parasoles solares. Simulación por computadora.

1 INTRODUÇÃO

Os edifícios representam um dos principais responsáveis pela demanda crescente de energia nas cidades e pela emissão de poluentes atmosféricos, contribuindo de forma significativa para tais problemas. Torna-se, portanto, essencial a adoção de estratégias voltadas à redução do consumo energético, favorecendo a sustentabilidade. Nesse contexto, a conservação de energia em cada ambiente é determinante para evitar o acionamento desnecessário de sistemas e equipamentos de climatização destinados a manter o conforto térmico (Allouhi *et al.*, 2015).

O setor de edificações responde por uma parcela expressiva do consumo global de energia elétrica, alcançando, em 2022, aproximadamente 37% do total mundial (UNEP, 2022). Tal indicador evidencia a relevância de ações voltadas à melhoria da eficiência energética nesse segmento.

A adoção de sistemas passivos de controle ambiental, como o uso de brise-soleils para regular a incidência solar, possibilita alcançar níveis mais satisfatórios de desempenho térmico e conforto ambiental em espaços internos. Atuando como barreiras externas à radiação, os brise-soleils destacam-se por sua eficiência, uma vez que bloqueiam parte significativa do calor antes que este adentre o ambiente (Silva; Amorim, 2008).

Nesse cenário, o brise solar, como elemento arquitetônico integrado à edificação, apresenta potencial para reduzir a entrada de calor no ambiente interno, atuando como sistema passivo de proteção solar. Essa função contribui para diminuir a dependência de sistemas mecânicos de resfriamento e, conseqüentemente, para a redução do consumo energético. Adicionalmente, os brise-soleils favorecem o aproveitamento e a distribuição uniforme da luz natural no interior do edifício, o que auxilia na redução da necessidade de iluminação artificial (Ghule *et al.*, 2018).

O uso de softwares computacionais para modelagem e simulação de ambientes demonstra elevada eficiência, possibilitando otimizar o consumo de energia tanto em edificações novas quanto em construções existentes que demandam adequações. Tais simulações consideram variáveis frequentemente negligenciadas no processo de projeto, como as condições climáticas locais, a incidência de sombreamento, as dimensões das aberturas como janelas e a aplicação de sistemas de sombreamento associados. Entre as ferramentas disponíveis, o EnergyPlus destaca-se como a mais utilizada para esse tipo de análise (Kirimtat *et al.*, 2016).

O EnergyPlus é amplamente empregado na modelagem do desempenho energético de edificações, contemplando sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado. Além disso, possui validação conforme a norma ANSI/ASHRAE Standard 140 e atende aos requisitos estabelecidos na NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

Em determinados casos, as condições climáticas do local de implantação da edificação não são devidamente consideradas na etapa de projeto, o que pode comprometer diretamente sua eficiência energética. De forma semelhante, elementos construtivos, como paredes e janelas, podem não ser dimensionados para favorecer o desempenho térmico. Essa negligência frequentemente resulta em maior demanda por sistemas artificiais de climatização, acarretando, conseqüentemente, um aumento no consumo de energia elétrica (Maciel, 2023).

No Brasil, país de dimensões continentais e diversidade climática regional, o projetista deve adotar abordagens diferenciadas que considerem essas variáveis. Em áreas de clima mais frio, é fundamental controlar a entrada da radiação solar nos edifícios, visando maximizar seu aproveitamento durante o inverno. Já em regiões de clima mais quente, torna-se imprescindível proteger os ambientes internos da radiação solar pelo maior tempo possível, evitando o aumento excessivo da temperatura e reduzindo a dependência da refrigeração mecânica (Leitzke et al., 2017).

As superfícies vitrificadas exercem papel relevante na modulação do clima interno, uma vez que transmitem e absorvem quantidades significativas de radiação solar. Esse fenômeno contribui para o aumento das demandas energéticas relacionadas ao aquecimento e ao resfriamento dos ambientes (Touma et al., 2016).

Este estudo busca contribuir para a redução do elevado consumo de energia elétrica em edificações, tendo como objetivo analisar a eficiência de diferentes cores de envoltória e brises solares em um modelo de edifício de escritórios. Para isso, foram realizadas simulações computacionais que permitiram identificar estratégias de mitigação do consumo, bem como comparar o desempenho obtido em cada cenário avaliado.

1.1 Referencial Teórico

A norma brasileira ABNT NBR 15220, que trata do desempenho térmico de edificações, é composta por três partes. A Parte 1 estabelece a terminologia técnica padronizada associada ao desempenho térmico das edificações, definindo conceitos, símbolos e unidades empregados nas demais partes da norma. Essa parte constitui a base conceitual do documento, assegurando a padronização e a correta interpretação dos termos utilizados nas análises e nos cálculos (ABNT, 2024).

A Parte 2 da ABNT NBR 15220 apresenta os métodos de cálculo para a determinação da resistência térmica e da transmitância térmica dos elementos da edificação. Essa parte é fundamental para a realização de simulações térmicas, para processos de certificação de eficiência energética e para projetos que exigem o conhecimento das propriedades térmicas dos materiais e componentes construtivos (ABNT, 2022).

E a Parte 3 apresenta o novo zoneamento bioclimático do Brasil, dividindo o território nacional em seis zonas bioclimáticas, cada uma subdividida em duas subzonas, com base em dados meteorológicos atualizados referentes ao período de 1990 a 2020. Além disso, define estratégias construtivas passivas recomendadas para cada zona, com foco em habitações de interesse social (ABNT, 2024).

A norma ABNT NBR 15575 abrange uma gama mais ampla de aspectos quando comparada à norma mencionada anteriormente. Ela trata de diversos requisitos de desempenho das edificações, incluindo o desempenho térmico. Essa norma estabelece os requisitos e critérios de desempenho aplicáveis a todos os tipos de edificações durante a fase de projeto. Diferentemente da ABNT NBR 15220, que utiliza o atraso térmico como um dos parâmetros de avaliação, a ABNT NBR 15575 adota a capacidade térmica como um parâmetro fundamental (ABNT, 2021).

A INI-C (Instrução Normativa do Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas), instituída pela Portaria Inmetro nº 309/2022,

substitui o RTQ-C como referência normativa nacional para a etiquetagem de eficiência energética de edificações não residenciais. Essa instrução estabelece critérios técnicos, procedimentos de avaliação e métodos de classificação aplicáveis a edificações em fase de projeto ou já construídas, com o objetivo de promover o uso eficiente da energia, o conforto ambiental e a sustentabilidade no ambiente construído (INMETRO, 2022).

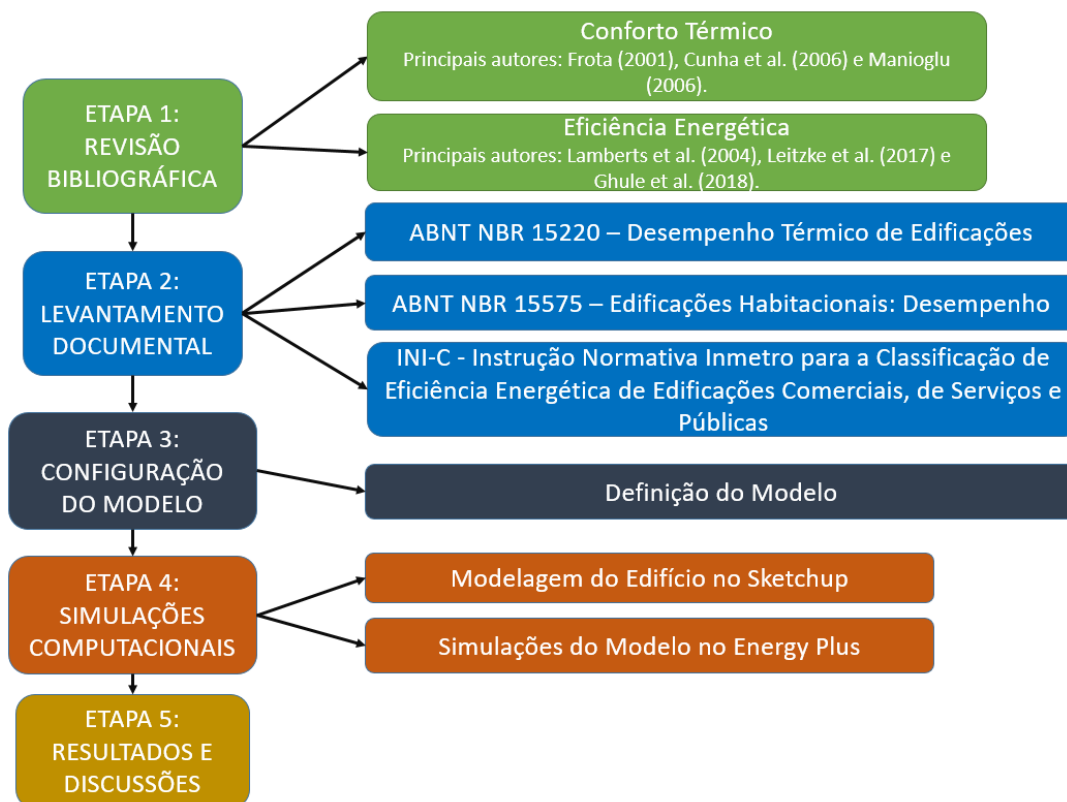
Por fim, A ABNT NBR 16401 estabelece os requisitos para projeto, execução e avaliação de sistemas de ar-condicionado em edificações, com foco no conforto térmico, na qualidade do ar interior e no desempenho dos sistemas. Ela é dividida em três partes: a Parte 1 trata das condições internas de conforto térmico e parâmetros de projeto; a Parte 2 define os critérios para qualidade do ar interior, incluindo taxas mínimas de renovação de ar e controle de contaminantes; e a Parte 3 aborda os procedimentos para projeto, instalação, operação e manutenção dos sistemas (ABNT, 2008).

Na seção a seguir serão apresentados os procedimentos metodológicos adotados nesse trabalho.

2 METODOLOGIA

A metodologia foi organizada em quatro etapas principais, sendo elas: Levantamento Documental, Definição do Modelo, Configuração do Modelo, Simulação Computacional do Modelo, e Resultados e Discussões. Estas etapas podem ser vistas no fluxograma da Figura 1, e estão descritas em detalhes a seguir.

Figura 1 – Fluxograma da Metodologia



Fonte: Autores (2025).

2.1 Etapa 1: Levantamento Documental

Para a configuração do modelo, foram utilizados quatro documentos normativos que fornecem referências técnicas essenciais, abrangendo propriedades dos materiais, temperaturas de ocupação, especificações de iluminação e demais parâmetros relevantes. Entre eles, destaca-se a Instrução Normativa INI-C do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), que estabelece critérios para a classificação da eficiência energética em edificações comerciais, de serviços e públicas.

Além disso, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) dispõe de duas normas fundamentais para os temas abordados: a NBR 15220 — Desempenho Térmico de Edificações — e a NBR 15575 — Desempenho de Edificações Habitacionais. Complementarmente, foi considerada a NBR 16401 — Instalações de Ar-Condicionado, que trata dos sistemas centrais e unitários, definindo valores de temperatura para assegurar o conforto térmico por meio da climatização artificial.

Esta etapa teve como objetivo realizar um levantamento sistemático das normas nacionais relacionadas ao conforto térmico e à eficiência energética, proporcionando uma base normativa sólida para o desenvolvimento do estudo.

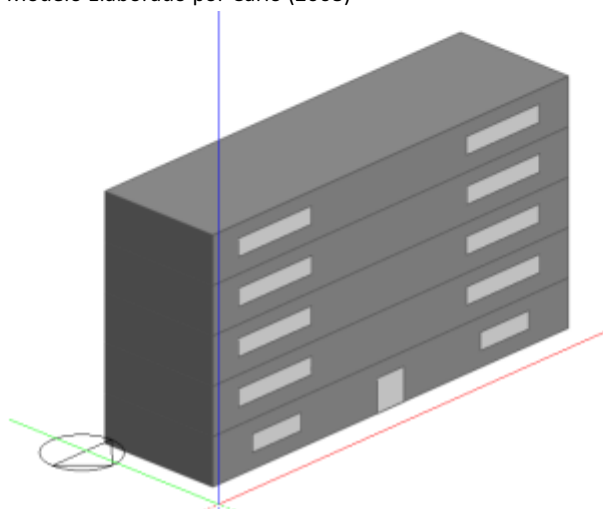
2.2 Etapa 2: Definição do Modelo

O modelo empregado neste estudo foi definido a partir da metodologia apresentada por Carlo (2008), que identificou volumetrias típicas de edificações comerciais por meio de um levantamento fotográfico. Com base nessa análise, foi desenvolvido um modelo denominado “grandes escritórios”, caracterizado por uma edificação vertical com área de pavimento inferior a 500 m², composta por cinco pavimentos retangulares com dimensões de 27 m de comprimento, 7,8 m de largura e 15 m de altura.

A construção do modelo foi realizada utilizando o software SketchUp em combinação com o plugin Legacy OpenStudio, enquanto as simulações propostas foram conduzidas no EnergyPlus, ferramenta amplamente reconhecida e empregada para análise de desempenho energético em edificações.

A Figura 2 apresenta o modelo de Carlo (2008), utilizado como base para esse estudo:

Figura 2 – Modelo Elaborado por Carlo (2008)

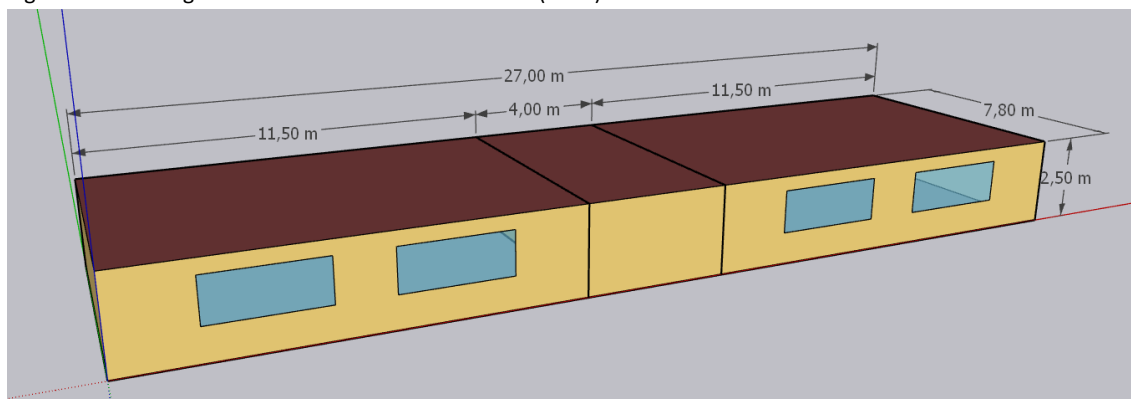


Fonte: Carlo (2008).

Para a modelagem deste projeto, considerou-se apenas um pavimento do modelo proposto por Carlo (2008). Tal pavimento está situado em posição intermediária, não recebendo radiação solar direta pelo teto e não estando em contato direto com o solo na face inferior.

A Figura 3 apresenta a modelagem com base no estudo de Carlo (2008):

Figura 3 – Modelagem com Base no Trabalho de Carlo (2008)



Fonte: Modelado com Base no Estudo de Carlo (2008).

2.3 Etapa 3: Configuração do Modelo

A etapa de configuração do modelo envolveu a definição de todas as características construtivas que interferem na energia consumida pelo modelo.

2.3.1 Zonas Térmicas

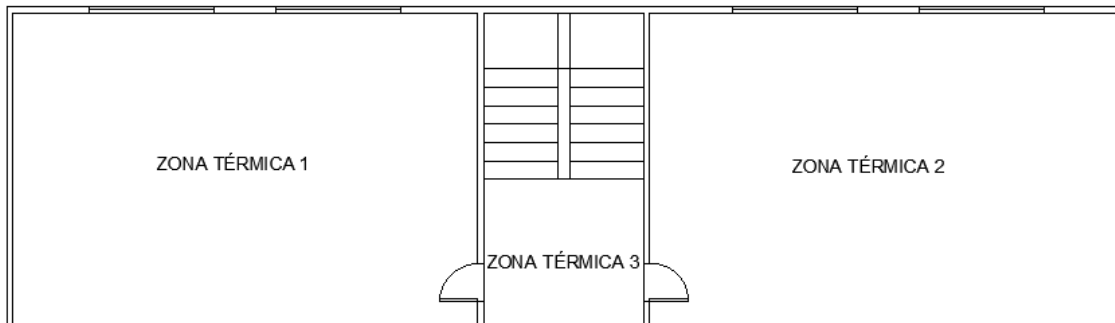
O modelo é composto por três zonas térmicas distintas. No centro situa-se a zona de circulação, que funciona como entrada do edifício e faz a ligação entre as duas salas de escritório. Essa área apresenta dimensões de 4 metros de comprimento por 7,8 metros de largura e dispõe de duas portas de acesso.

As demais zonas térmicas correspondem às salas de escritório, posicionadas em ambos os lados da circulação e separadas por esta. Cada sala possui dimensões idênticas, medindo 11,5

metros de comprimento por 7,8 metros de largura, e conta com uma porta de acesso à circulação, além de quatro janelas.

A Figura 4 apresenta as três zonas térmicas do modelo utilizado:

Figura 4 – Zonas Térmicas do Modelo



Fonte: Autores (2025).

2.3.2 Agenda de Ocupação

Considerando que se trata de um edifício modelo de escritórios, a agenda de ocupação adotada segue um padrão diário, com início às 8h00 e término às 18h00, de segunda-feira a sábado.

2.3.3 Características Construtivas dos Materiais Utilizados

Todos os materiais selecionados para o modelo foram configurados no EnergyPlus com base nos parâmetros indicados nas tabelas da norma NBR ABNT 15220 – Desempenho Térmico de Edificações. Valores referentes à densidade da massa aparente, condutividade térmica e calor específico foram extraídos dessa norma e incorporados à configuração do software. A Tabela 1 apresenta as características dos materiais utilizados.

Tabela 1 - Propriedades dos Materiais Utilizados no Modelo

MATERIAL	DENSIDADE DE MASSA APARENTE (ρ) (Kg/m ³)	CONDUTIVIDADE TÉRMICA (λ) (W/(m*K))	CALOR ESPECÍFICO (c) (KJ/(Kg*K))
Concreto normal	2400	1,75	1,00
Concreto reboco interno e parede	2200	1,75	1,00
Telha de cerâmica	2000	1,05	0,92
Gesso cartonado	700	0,25	0,84
Madeira porta	1000	0,29	1,34

Fonte: Adaptado da NBR 15220 (2005).

2.3.4 Iluminação

Para a iluminação, foi selecionada uma luminária equipada com refletores parabólicos para lâmpadas fluorescentes T5. Utilizando uma tabela presente no manual do software EnergyPlus, foram obtidos os valores-base de fração de ar de retorno, fração radiante e fração visível. Esses parâmetros foram inseridos na configuração do software para representar adequadamente os efeitos da iluminação nas três zonas térmicas do modelo. A Tabela 2 apresenta as características da Iluminação.

Tabela 2 - Propriedades dos Materiais da Iluminação

MATERIAL	FRAÇÃO DE AR DE RETORNO	FRAÇÃO RADIANTE	FRAÇÃO VISÍVEL
Refletores Parabólicos para Lâmpadas Fluorescentes T5	0,54	0,13	0,20

Fonte: Adaptado do Manual Input Output Reference (2016).

Para a agenda de iluminação foi considerada a mesma situação da agenda de ocupação: início às 8:00 horas e fim de expediente às 18:00 horas de segunda a sábado.

2.3.5 Equipamentos e Pessoas

Assim como o corpo humano influencia o balanço térmico do ambiente, os principais equipamentos presentes em escritórios também contribuem para essa dinâmica. A norma NBR 16401 – Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários forneceu os valores típicos de densidade de carga térmica dos equipamentos utilizados em ambientes de escritório.

Considerando uma densidade de um posto de trabalho para cada 7,7 m², em que cada posto inclui computador com monitor e impressora, o modelo adotado enquadra-se na categoria de carga alta, sendo a densidade de carga térmica definida como 21,5 W/m².

2.3.6 Arquivo Climático

As simulações foram fundamentadas nos dados climáticos da cidade de Passo Fundo-RS, utilizando-se o arquivo climático no formato EPW disponibilizado por Roriz (2020), que compilou e converteu informações de 411 municípios brasileiros com base nos registros do INMET. Localizada na região norte do Rio Grande do Sul, Passo Fundo situa-se a uma latitude de 28,2612° S e possui altitude de 684 metros acima do nível do mar (Prefeitura de Passo Fundo, 2025). A cidade está localizada na Zona Bioclimática 2, atual Zona Bioclimática 1M (ABNT, 2024)

O clima local caracteriza-se como temperado subtropical úmido, com precipitações distribuídas de forma relativamente uniforme ao longo do ano. A temperatura média anual é de aproximadamente 17,5°C, enquanto a umidade relativa do ar apresenta média anual em torno de 72% (Prefeitura de Passo Fundo, 2025).

A janela temporal adotada para as simulações contempla os 365 dias do ano, garantindo uma análise abrangente do comportamento térmico ao longo de todas as estações.

2.3.7 Vidros

O vidro utilizado será o monolítico temperado, que é considerado um vidro simples. A Tabela 3 apresenta as características do vidro escolhido.

Tabela 3 - Características Ópticas - Vidro 8mm

CARACTERÍSTICAS DO VIDRO	
Espessura (mm)	8
Transmitância Solar	0,726
Refletância Solar 1	0,067
Refletância Solar 2	0,067
Transmitância Visível	0,869
Refletância Visível 1	0,081
Refletância Visível 2	0,081
Transmitância Infravermelha	0
Emissividade Infravermelha 1	0,84
Emissividade Infravermelha 2	0,84
Condutividade (W/m*K)	1

Fonte: Lawrence Berkeley National Laboratory, WINDOW 7.4.14 (2023).

2.3.8 Envoltória

A envoltória do modelo de referência foi configurada com a cor branca, cuja absorptância varia entre 23% e 49%, conforme indicado pela ASHRAE (2001). Para este estudo, adotou-se o valor de 25% como parâmetro para o modelo de referência. Posteriormente foram utilizadas as cores bege e marrom-escuro nas simulações. Segundo a ASHRAE (2001), o bege possui absorptância de 40 a 50% e o marrom-escuro de 85 a 95%.

A Tabela 4 apresenta as cores simuladas e os valores de absorptância empregados.

Tabela 4 - Absortância das Cores da Envoltória

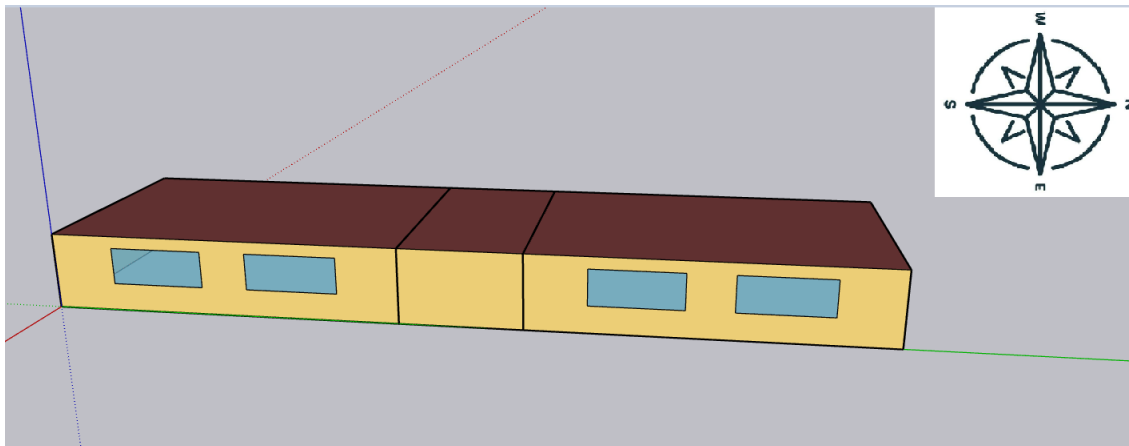
COR	ABSORTÂNCIA UTILIZADA
Branco	25%
Bege	50%
Marrom Escuro	90%

Fonte: Autores (2025).

2.3.9 Orientação Solar

O modelo de referência possui quatro janelas voltadas para o leste, enquanto as outras quatro estão voltadas para o oeste, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Orientação Leste/Oeste para o Modelo de Referência



Fonte: Autores (2025).

2.4 Etapa 4: Simulação Computacional do Modelo

2.4.1 Roteiro de Simulação

O modelo de referência apresentado na Figura 3 é o ponto de partida das simulações e servirá como base de comparação com as demais.

As primeiras comparações foram com a troca das cores da envoltória do modelo para bege e marrom-escuro (50% e 90% de absorvância solar).

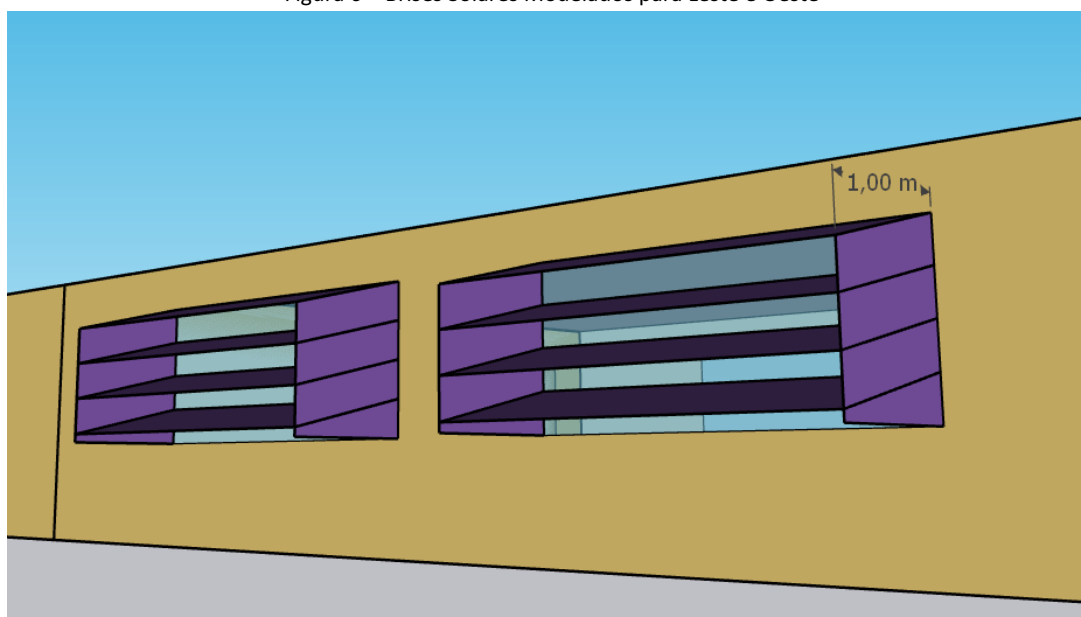
Após, brises solares adicionados ao modelo de referência, gerando mais três casos de simulação. Esses brises são projetados para a orientação leste e oeste, e foram instalados em todas as oito janelas do edifício. Primeiramente vamos entender o efeito dos brises solares nas janelas voltadas para leste, depois para as janelas voltadas para oeste e, por fim, será feita uma simulação conjunta dos dois casos.

As oito janelas são iguais e possuem medidas de 1,2 metros de altura e 3 metros de largura, sendo quatro janelas por sala de escritório.

Utilizando a carta solar 28º Sul e considerando que para leste o horário onde ocorre maior radiação solar para a latitude da cidade de Passo Fundo é das 6 horas às 11 horas, e para oeste das 13 horas às 18 horas, foram projetados os brises solares.

A Figura 6 apresenta os brises solares modelados para leste e oeste.

Figura 6 – Brises Solares Modelados para Leste e Oeste



Fonte: Autores (2025).

A simulação do modelo de referência, das novas duas cores da envoltória, dos brises solares leste e oeste e da combinação dos brises solares com as novas cores totalizou 8 simulações que podem ser vistas na Tabela 5, que apresenta o roteiro das simulações realizadas.

Tabela 5 – Roteiro de Simulações

SIMULAÇÕES	DESCRIÇÃO
1ª Simulação	Modelo de Referência
2ª Simulação	Cor da Envoltória Bege
3ª Simulação	Cor da Envoltória Marrom-escuro
4ª Simulação	Brises Solares Leste
5ª Simulação	Brises Solares Oeste
6ª Simulação	Brises Solares Leste e Oeste
7ª Simulação	Brises Solares Leste e Oeste e Cor Bege
8ª Simulação	Brises Solares Leste e Oeste e Cor Marrom-escuro

Fonte: Autores (2025).

2.5 Etapa 5: Resultados e Discussões

Nesta etapa, as análises de eficiência energética foram apresentadas, apontando quais variações realizadas mais contribuíram para a redução do consumo de energia do modelo de referência.

3 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados das oito simulações do modelo de edifício de escritórios com as variações de cor de envoltória e posicionamento de brises solares. Além disso, são apresentadas as discussões acerca dos resultados obtidos e de sua influência no consumo de energia elétrica do modelo.

A Tabela 6 apresenta os resultados do modelo de referência.

Tabela 6 - Resultados do modelo de referência (em kWh).

Simulações	Modelo de Referência
Aquecimento	411,82
Refrigeração	3095,52
Ventiladores	80,15
Iluminação	6862,05
Equipamentos	9642,75
Consumo Total	20092,29

Fonte: Autores (2025).

Os resultados do modelo de referência vão servir como base de comparação para as demais simulações. A seguir, na Tabela 7, podemos ver os resultados para as cores da envoltória bege e marrom-escuro, considerando que o modelo de referência possui como padrão a cor branca.

Tabela 7 - Simulações das Cores da Envoltória (em kWh).

Simulações	Modelo de Referência	Cor Bege	Cor Marrom-escuro
Aquecimento	411,82	304,35	206,77
Refrigeração	3095,52	3773,51	4868,93
Ventiladores	80,15	96,00	122,27
Iluminação	6862,05	6862,05	6862,05
Equipamentos	9642,75	9642,75	9642,75
Consumo Total	20092,29	20678,66	21702,77
Diferença (%)	-	+2,91%	+8,01%

Fonte: Autores (2025).

A alteração da coloração das superfícies externas do modelo para tonalidades com maior absorvância resultou em incremento no consumo energético. Essas superfícies, ao apresentarem coeficientes de absorção superiores ao do branco adotado no modelo de referência, captam uma fração mais elevada da radiação solar incidente, elevando consequentemente a carga térmica interna. Tal condição ocasionou aumentos expressivos na demanda de refrigeração, com acréscimos de 2,91% e 8,01% no consumo para as cores bege e marrom-escuro, respectivamente, em relação ao modelo de referência. O fenômeno ocorre devido ao fato de superfícies de menor absorvância refletirem maior parcela da radiação solar, minimizando a transferência de calor para o ambiente interno.

Na Tabela 8 estão os resultados das simulações dos brises solares.

Tabela 8 - Simulações dos Brises Leste e Oeste no Modelo de Referência (em kWh).

Simulações	Modelo de Referência	Brises Leste	Brises Oeste	Brises Leste e Oeste
Aquecimento	411,82	508,97	486,34	638,37
Refrigeração	3095,52	2577,34	2690,72	2122,25
Ventiladores	80,15	67,99	67,50	51,94
Iluminação	6862,05	6862,05	6862,05	6862,05
Equipamentos	9642,75	9642,75	9642,75	9642,75
Consumo Total	20092,29	19659,09	19749,37	19317,36
Diferença (%)	-	-2,15%	-1,70%	-4,01%

Fonte: Autores (2025).

A incorporação de brises solares nas aberturas voltadas para a fachada leste resultou em uma redução de 2,15% no consumo energético do modelo. Para as janelas orientadas a oeste, a diminuição observada foi de 1,70%. Quando aplicados simultaneamente em ambas as fachadas, leste e oeste, verificou-se uma redução acumulada de 4,01% no consumo de energia elétrica em relação ao modelo de referência. Essa economia está associada ao bloqueio da radiação solar incidente nos períodos críticos determinados, o que contribuiu para a diminuição da carga térmica interna e, conseqüentemente, da demanda por refrigeração.

A Tabela 9 apresenta os resultados dos brises solares leste e oeste combinados com as cores bege e marrom-escuro.

Tabela 9 - Simulações dos Brises Leste e Oeste com Cores da Envoltória diferentes no Modelo de Referência (em kWh).

Simulações	Modelo de Referência	Brises Leste e Oeste e Cor Bege	Brises Leste e Oeste e Cor Marrom-escuro
Aquecimento	411,82	439,17	283,12
Refrigeração	3095,52	2795,51	3767,56
Ventiladores	80,15	72,63	95,41
Iluminação	6862,05	6862,05	6862,05
Equipamentos	9642,75	9642,75	9642,75
Consumo Total	20092,29	19812,12	20650,89
Diferença (%)	-	-1,39%	+2,78%

Fonte: Autores (2025).

Quando comparamos os resultados combinados dos brises solares com as cores em comparação com o modelo de referência, podemos observar que o aumento de consumo ocasionado pela cor bege na envoltória, associado à diminuição do consumo causada pelos brises solares, resultou em uma economia de energia de 1,39%. Os brises solares foram suficientes para contrapor o aumento causado pela cor bege.

No caso da cor marrom-escuro, os brises solares não foram suficientes para reverter o aumento de consumo energético causado pela cor, o que ocasionou um aumento de 2,78% no consumo energético. Um aumento menor do que os 8,01% resultantes da simulação sem o uso de brises, realizada somente com a cor da envoltória em marrom-escuro.

4 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência energética de um modelo de edifício de salas de escritórios através de simulações de cores de envoltória e com a adição de brises solares nas fachadas voltadas para o leste e para o oeste. Este objetivo foi cumprido a partir das análises apresentadas que mostraram resultados de eficiência energética positivos para os brises solares e negativos para as cores adicionais propostas.

Os resultados satisfatórios dos brises solares ocorrem pelo fato dos mesmos serem dispositivos de bloqueio de radiação solar, diminuindo a necessidade de potência por parte de ares condicionados para reduzir a temperatura interna, especialmente no verão. No inverno, ocorre um prejuízo pelo fato dessa radiação solar não contribuir com o aquecimento do modelo, mas na somatória total, a redução do consumo de energia no verão se sobressai e faz com que os brises solares diminuam o consumo de energia elétrica total durante o ano.

As cores de envoltória testadas possuíam uma absorvência solar maior que a do modelo de referência, e isso fez com que o consumo de energia na refrigeração aumentasse por absorverem muito menos energia térmica que poderia ser trocada com o meio interno. Isso gerou aumento do consumo de energia elétrica quando testadas as cores bege e marrom-escuro em comparação ao modelo de referência, que utilizava a cor branca.

A contribuição do trabalho está na disponibilização de dados em relação ao papel das cores da envoltória e ao controle de radiação solar utilizando brises em edifícios comerciais através das situações apresentadas nas oito simulações realizadas no contexto da Zona Bioclimática 1M, com uma orientação leste/oeste para as fachadas.

5 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALLOUHI, A. et al. Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends. **Journal of Cleaner Production**, p. 1-13, 2015.

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **ASHRAE handbook: fundamentals**. SI ed. Atlanta, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575: edificações habitacionais – desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16401: instalações de ar-condicionado – sistemas centrais e unitários**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

CARLO, J. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não residenciais**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

GHULE, R. et al. Sustainable building. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, v. 5, n. 1, p. 1179-1183, 2018. Disponível em: <https://www.irjet.net/archives/V5/i1/IRJET-V5I1251.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). Portaria nº 309, de 6 de setembro de 2022. Aprova as instruções normativas e os requisitos de avaliação da conformidade para a eficiência energética das edificações comerciais, de serviços e públicas e residenciais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 6 set. 2022. Disponível em: https://www.inmetro.gov.br/legislacao/detalhe.asp?seq_ato=2989&seq_classe=1. Acesso em: 4 abr. 2024.

KIRIMTAT, A. et al. Review of simulation modeling for shading devices in buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 23-49, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.02>.

LEITZKE, R. K. et al. Avaliação de dispositivos de proteção solar fixos e automatizados para edifício residencial. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 8, n. 1, p. 59-72, mar. 2017. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8649657>. Acesso em: 9 set. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v8i1.8649657>.

MACIEL, T. S. et al. Aplicação de diferentes métodos para previsão do desempenho energético de edifícios: a influência da escolha da ferramenta durante a etapa inicial de projeto. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2023. **Anais [...]**. [S. l.], 2023. p. 1-9. DOI: 10.46421/encac.v17i1.4063.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PASSO FUNDO. Turismo – características físicas. Disponível em: <https://www.pmpf.rs.gov.br/turismo/caracteristicas-fisicas/>. Acesso em: 5 jul. 2025.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). Emissões globais do setor de construção ainda são altas e continuam crescendo. Nairobi, 7 mar. 2024. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/comunicado-de-imprensa/emissoes-globais-do-setor-de-construcao-ainda-sao>. Acesso em: 30 jan. 2026.

SILVA, J. S.; AMORIM, C. N. D. O brise-soleil como elemento de controle solar: estudo de caso de um edifício no Plano Piloto de Brasília. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU, 7., 2008, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: USP, 2008.

TOUMA, A. Al. et al. Solar chimney integrated with passive evaporative cooler applied on glazing surfaces. **Energy**, v. 115, part 1, p. 169-179, nov. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.020>.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **2022 global status report for buildings and construction: towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector**. Nairobi, 2022.