



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

BRUNO SANTOS DO AMARANTE

**DIMENSIONAMENTO DE JANELAS NO DESEMPENHO TÉRMICO DE
PAREDES: SIMULAÇÃO PARA EDIFICAÇÕES NO MUNICÍPIO DE BARREIRAS-
BA**

BARREIRAS-BA

2024

BRUNO SANTOS DO AMARANTE

**DIMENSIONAMENTO DE JANELAS NO DESEMPENHO TÉRMICO DE
PAREDES: SIMULAÇÃO PARA EDIFICAÇÕES NO MUNICÍPIO DE BARREIRAS-
BA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Oeste da Bahia, como requisito à
obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Dennis Coelho Cruz

BARREIRAS-BA

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

A485 Amarante, Bruno Santos do.

Dimensionamento de janelas no desempenho térmico de paredes: simulação para edificações no município de Barreiras-BA. / Bruno Santos do Amarante. – 2024.

61f.

Orientador: Prof. Dr. Dennis Coelho Cruz.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. Barreiras, BA, 2024.

1. Comportamento térmico. 2. Ventilação natural. 3. Sombreamento. 4. Simulação computacional. 5. Cargas térmicas. I. Cruz, Dennis Coelho. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia - Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III. Título.

CDD 624

Biblioteca Universitária de Barreiras - UFOB

BRUNO SANTOS DO AMARANTE

**DIMENSIONAMENTO DE JANELAS NO DESEMPENHO TÉRMICO DE
PAREDES: SIMULAÇÃO PARA EDIFICAÇÕES NO MUNICÍPIO DE BARREIRAS-
BA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial
à obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Aprovada em 29 de agosto de 2024

Banca Examinadora

Orientador(a): _____

Prof. Dr. Dennis Coelho Cruz
Universidade Federal do Oeste da Bahia



Prof. Dr. Elier Pavon de La Fe
Universidade Federal do Oeste da Bahia

Prof. Dra. Yascara Maia Araújo de Brito
Universidade Federal do Oeste da Bahia

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho de conclusão de curso e para minha formação acadêmica.

Primeiramente agradeço a Deus por toda benção e proteção, e por me permitir concluir mais essa etapa em minha vida.

Ao meu orientador, Prof^o. Dennis Coelho Cruz, por sua orientação, paciência e apoio incondicional ao longo de todo o processo. Suas valiosas sugestões e críticas construtivas foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também aos professores e colegas do Curso de Engenharia Civil da UFOB pela troca de experiências e pelo ambiente estimulante de aprendizado. Em especial, gostaria de mencionar os amigos e colegas de curso André Carlos, Arthur França, Breno Henrique, Felipe Marques, Luane Moreira e Lucas Lima, cuja colaboração e amizade foram essenciais para a realização deste projeto e para minha evolução em toda jornada acadêmica.

Não posso deixar de reconhecer o apoio inestimável de minha família e amigos. Agradeço aos meus pais, Alberto e Anelia, ao meu irmão, Victor, e minha namorada, Millena Amorim, pelo suporte emocional durante todo o curso. Seus incentivos constantes e crença em meu potencial foram a base para minha dedicação e sucesso. Agradeço também aos meus amigos Anderson Gama, André Tonolo, Camilla Borges, Clodoaldo Souza, Diego Rocha, Éric Araújo, Kllisma Chueiky, Marcela Cristina, Mauro Júnior, Maxsuell Bonfim, Miguel Oliveira, Pedro Henrique e Uelinton Souza, que, com palavras de encorajamento e compreensão, tornaram essa jornada mais leve e gratificante.

Agradeço a toda equipe da AGF Engenharia por todo apoio, companheirismo e conhecimentos adquiridos em todo período de estágio, que foram de suma importância para minha formação.

A equipe da Drasso Construtora e Incorporadora, pela oportunidade do primeiro emprego, por todo apoio e compreensão. Em especial, aos amigos e colegas de trabalho Alexandre Andrade, Fábio Aragão, Higor Rodrigues, Sérgio Moura (*in memoriam*), Maximiliano Ribeiro, Osmar Silva, Paulo Americano, Rhisley Morais e Victor Leonardo.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. Cada um de vocês desempenhou um papel fundamental nesta conquista, e sou eternamente grato por isso.

RESUMO

A orientação solar e implantação de uma edificação no terreno são fundamentais para a ventilação natural dos ambientes, priorizando o efeito das correntes de ar predominante no período de verão para resfriar os ambientes, ao contrário que no inverno deve ser evitado para que não ocorra perdas de calor da edificação para o exterior. Para um projeto de uma edificação, deve-se considerar o seu desempenho térmico e variáveis que influenciam no conforto do usuário, e assim obter uma construção termo-energética que atende às normas vigentes. O presente trabalho teve como objetivo analisar a influência do dimensionamento das aberturas de iluminação e ventilação no desempenho térmico de paredes para as condições climáticas do município de Barreiras – BA, através de simulação computacional. Os parâmetros utilizados foram a área das janelas, opções de sombreamento, e presença/ausência de renovação de ar, na estação climática do verão. Os parâmetros fixos do material da alvenaria, absorvância e orientação solar foram considerados de Silva (2021). As simulações pelo software EnergyPlus mostraram que, para as condições climáticas do município em estudo, quanto maior a área do vão da abertura, maior a carga térmica por resfriamento para manter a temperatura de 25°C. O uso de sombreamento revelou-se eficaz na redução da carga térmica do ambiente e do desconforto térmico. Os níveis adotados de renovações do ar no ambiente apontaram para um aumento da carga térmica de resfriamento, que poderá influenciar expressivamente no desconforto térmico do ambiente, independente do uso de sombreamento.

Palavras-chave: comportamento térmico; ventilação natural; sombreamento; simulação computacional; cargas térmicas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estratégias de controle climático a serem adotadas no projeto arquitetônico.....	16
Figura 2: Influência do beiral no direcionamento do fluxo de ventilação para o interior ...	17
Figura 3: Comportamento da radiação solar no vidro: a) parcela absorvida; b) parcela refletida; c) parcela transmitida	19
Figura 4: Zoneamento Bioclimático Brasileiro	21
Figura 5: Fluxograma das etapas	29
Figura 6: Dimensões do modelo computacional	30
Figura 7: Ilustração da composição da parede escolhida para a simulação.....	31
Figura 8: Modelo de referência e modelo equivalente no EnergyPlus.....	32
Figura 9: Modelo Sketch-UP para simulação com o uso de sombreamento	33
Figura 10: Modelo computacional e suas dimensões no software SketchUp.....	34
Figura 11: Temperatura e umidade relativa do município de Barreiras conforme arquivo climático	35
Figura 12: Interface do software EnergyPlus EP-Launch	36
Figura 13: Interface do EnergyPlus IDF Editor.....	37
Figura 14: Valores de carga térmica de resfriamento (CgTR) para diferentes simulações .	40
Figura 15: Relação entre temperatura média do ar na zona e carga térmica de resfriamento com o tempo, sem sombreamento: a) 1 ren/h; b) 5 ren/h; Orientação Oeste	44
Figura 16: Relação entre temperatura média do ar na zona e carga térmica de resfriamento com o tempo, com sombreamento: a) 1 ren/h; b) 5 ren/h; Orientação Oeste	44
Figura 17: Relação entre temperatura média do ar na zona e carga térmica de resfriamento com o tempo, sem sombreamento: a) 1 ren/h; b) 5 ren/h; Orientação Norte	45
Figura 18: Relação entre temperatura média do ar na zona e carga térmica de resfriamento com o tempo, com sombreamento: a) 1 ren/h; b) 5 ren/h; Orientação Norte	46
Figura 19: Classe Building	54
Figura 20: Classe HeatBalanceAlgorithm	54
Figura 21: Classe SiteLocation.....	55
Figura 22: Classe RunPeriod	55
Figura 23: Classe Schedule Compact	56
Figura 24: Classe Material:AirGap	56
Figura 25: Classe WindowMaterial:Glazing	57
Figura 26: Classe Construction	58
Figura 27: Classe BuildingSurface:Detailed	58
Figura 28: Classe FenestrationSurface:Detailed.....	59
Figura 29: Classe ZoneVentilation:DesingFlowRate	60
Figura 30: Classe ZonaVentilation:WindandStackOpenArea.....	61
Figura 31: Classe HVACTemplate:Thermostat	61
Figura 32: Classe HVACTemplate:ZoneIdealLoadAirSystem	62
Figura 33: Classe Output:Variable	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Aberturas para ventilação, adaptadas para zona bioclimática 7	22
Tabela 2: Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona bioclimática 7	22
Tabela 3: Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 7	22
Tabela 4: Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 7	22
Tabela 5: Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa, adaptado para a zona bioclimática 7	23
Tabela 6: Dimensões mínimas relativas às edificações.....	24
Tabela 7: Dimensões das janelas usadas para simulação, em metros	31
Tabela 8: Propriedades dos materiais utilizados.....	32
Tabela 9: Parâmetros utilizados para a realização das simulações.....	38
Tabela 10: Comparativo de variação de carga térmica de resfriamento para todas as aberturas	41
Tabela 11: Relação de carga térmica de resfriamento para simulações nas orientações Oeste e Norte	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
CgTA	Carga Térmica de Aquecimento
CgTR	Carga Térmica de Resfriamento
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
α	Absortância

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Objetivo Geral	12
1.1.2 Objetivos Específicos	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 CONFORTO TÉRMICO	14
2.2 BIOCLIMATOLOGIA	15
2.3 GANHO DE CALOR PELOS ELEMENTOS VERTICAIS	16
2.4 LEGISLAÇÃO EM RELAÇÃO À ÁREA DE ABERTURAS PARA AMBIENTES RESIDENCIAIS 20	
2.4.1 NBR 15575/2021 e as áreas dos vãos de iluminação	20
2.4.2 NBR 15220-3/2005 e as áreas dos vãos de aberturas	21
2.4.3 Plano Diretor e Código de obras do Município de Barreiras (BA)	23
2.5 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS SOBRE DESEMPENHO TÉRMICO APLICADO ÀS EDIFICAÇÕES	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 PROTÓTIPOS	30
3.1.1 Propriedades da envoltória e janelas	31
3.1.2 Sombreamento	33
3.1.3 Ventilação	33
3.2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	34
3.2.1 Definição do arquivo climático	35
3.2.2 Configurações de simulação	35
3.3 ANÁLISE COMPARATIVA	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1 ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES PARA AS VARIAÇÕES DE ABERTURAS	39
4.2 CARGA TÉRMICA X ORIENTAÇÃO SOLAR	42
4.3 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA MÉDIA DO AR E CARGA TÉRMICA PARA ABERTURA DE 16,7% DA ÁREA DO PISO	43
CONCLUSÃO	48
RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	50
REFERÊNCIAS	51
APÊNDICE A	54

1. INTRODUÇÃO

Segundo Jones (2016), o desenvolvimento de um projeto de construção deverá considerar um aproveitamento efetivo da ventilação natural como meio de controle ambiental, sendo que deve ser analisado os ventos predominantes, a área das aberturas para ventilação, a posição do centro geométrico, e até a relação com a área interna do espaço. De modo geral, qualquer escolha que não esteja alinhada com essas especificidades pode resultar em superaquecimento dos ambientes e maior consumo de energia.

Conforme a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), o consumo de energia elétrica no Brasil aumentou 3,7% em 2023, em relação ao ano anterior, com um total de 69.363 MW, o maior dos últimos anos. Esse crescimento foi impulsionado pelas ondas de calor e o aumento no mercado livre de energia – onde estão grandes empresas, que podem negociar a compra direta de energia direto com o comercializador ou produtor. Além disso, o uso mais intenso de eletrodomésticos como ventiladores e condicionadores de ar alavancou a demanda (Carregosa, 2024).

De acordo com Frota e Schiffer (2003), em regiões de clima quente e úmido, a ventilação natural é a maneira mais simples de proporcionar conforto térmico quando as temperaturas internas se elevam. O movimento do ar sobre a pele gera uma sensação de frescor para os ocupantes, especialmente em temperaturas acima de 30°C, e a ventilação natural tem a capacidade de renovar o ar em um ambiente, sendo a circulação é essencial para alcançar o conforto térmico.

Conforme Tibúrcio (2017), as janelas são muitas vezes a única maneira que o usuário tem para controlar as condições microclimáticas do ambiente interno. O desempenho da ventilação natural depende da disposição do ambiente, área, localização e tipologia. Além disso, as normas no país ainda não contemplam diretrizes consistentes que auxiliam os projetistas na tomada de decisões diante do dimensionamento, localização ou tipologia das esquadrias.

A NBR 15220 (ABNT, 2022), por sua vez, apresenta recomendações sobre o desempenho térmico das edificações de interesse social, garantindo que seus projetos e construções tenham conforto ao cumprir as diretrizes construtivas e estratégias de condicionamento térmico. É considerado, também, o clima local e as características específicas da zona bioclimática onde a edificação está localizada.

A NBR 15575 (ABNT, 2021) traz recomendações quanto ao dimensionamento das aberturas em relação ao piso. Estabelece dois métodos para a avaliação térmica: o método

simplificado, que envolve cálculos e simulações computacionais, e o método informativo, que consiste na medição no local. No método simplificado, verifica-se, por meio de cálculos, se os elementos de fechamento externos, como paredes e coberturas, atendem aos requisitos de transmitância e capacidade térmica, o que é definido pelas propriedades térmicas da norma NBR 15220 (ABNT, 2022). Contudo, Tibúrcio (2017) relata que ambas as normas não mencionam questões como a necessidade de abertura de entrada e saída, tipologia da esquadria, distribuição das aberturas e orientação em relação aos ventos predominantes.

Considerando as características climáticas do município de Barreiras – BA, marcado por altas temperaturas e uma grande amplitude térmica, bem como as frequentes reclamações dos moradores sobre o conforto térmico nas residências, é importante investigar a envoltória das edificações para melhorar o desempenho térmico e a buscar continuamente por soluções construtivas que promovam uma maior eficiência no uso de energia. Araújo (2018) conclui no seu trabalho que há necessidade propiciar um maior conforto térmico e reduzir os custos com resfriamento artificial, e Silva (2021) indica por paredes que possuam materiais isolantes na sua composição para gerar melhores desempenhos térmicos.

A proposta do trabalho é complementar a investigação sobre alvenaria de vedação com enfoque na presença ou ausência de vãos de abertura de ventilação no desempenho térmico das edificações, conforme preconizam as normas NBR 15575 (ABNT, 2021) e NBR 15220 (ABNT, 2022), e o Código de Obras do município de Barreiras.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho teve como objetivo analisar a influência das aberturas no desempenho térmico de paredes, quando submetidas às condições climáticas da cidade de Barreiras – BA.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Verificar de que forma o tamanho das aberturas das janelas influenciam na carga térmica de resfriamento para o modelo computacional submetido às condições climáticas do município de Barreiras – BA;
- Analisar as respostas térmicas para as diferentes aberturas de janelas, considerando as mudanças de sombreamento e ventilação;

- Verificar a influência da orientação solar na carga térmica de resfriamento para as orientações solares Oeste e Norte;
- Analisar a relação da temperatura média do ar na zona e a carga térmica de resfriamento, para a abertura de 16,7% nas orientações solares Oeste e Norte.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para entender melhor a influência do dimensionamento das aberturas das janelas no desempenho térmico das paredes, é necessário compreender sobre o comportamento térmico do ambiente diante das características térmicas dos materiais. Sendo assim, dividiu-se a revisão bibliográfica nos seguintes tópicos: 1) conforto térmico; 2) bioclimatologia; 3) ganho de calor pelos elementos verticais; 4) legislação em relação à área de aberturas para ambientes residenciais, sendo elas as NBR 15575 (ABNT, 2021) e NBR 15220 (ABNT, 2005) e o Código de Obras do município de Barreiras; 5) simulações computacionais sobre desempenho térmico aplicado às edificações.

2.1 CONFORTO TÉRMICO

A importância de estudar o conforto térmico é fundamentada no bem-estar humano, na produtividade e na conservação de energia; uma pessoa deve sentir-se confortável em ambientes onde as tarefas do cotidiano (estudar, trabalhar) se desenvolvam, mas para tanto, as pessoas passam a maior parte do tempo em ambientes com controle artificial de temperatura (Lamberts *et al.*, 2016).

A *ASHRAE Standard 55 (2012): Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* define o conforto térmico como uma condição da mente exposta através da satisfação da pessoa com o ambiente térmico em seu entorno. A não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto pelo calor ou frio, quando o balanço térmico não está estável, ou seja, há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente (Lamberts *et al.*, 2016).

Conforme a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (2013), a sensação de conforto térmico está relacionada às condições de ventilação dos espaços, sendo significativamente influenciada pela localização e pelo tamanho das janelas. Além disso, o conforto térmico está relacionado às atividades no interior do imóvel, quantidade de mobília, tipo de vestimentas, número de ocupantes, idade, sexo e condições fisiológicas e psicológicas dos usuários.

Segundo Frota e Schiffer (2001), o conforto térmico depende de variáveis e para avaliar tais condições, é necessário que a pessoa esteja adequadamente vestida e sem problemas de saúde ou aclimação. É evidente que as condições ambientais proporcionam conforto térmico a habitantes de climas quentes e úmidos de forma diferente para as pessoas

de climas quentes e secos, bem como, também, para aqueles que vivem em regiões de clima temperado ou frio.

Além dessas variáveis, diversos estudos estão sendo realizados para determinar as condições e níveis de conforto ou desconforto, seja no frio ou calor. Considerando que os fatores que influenciam o conforto térmico são as mais diversas, tais como o metabolismo, termorregulação, reação ao frio ou calor, catabolismo, mecanismos de trocas térmicas entre o corpo e o ambiente, a pele (o principal órgão termorregulador), e a vestimenta, esses podem resultar em sensações ou respostas semelhantes – se variar algum deles ou todos eles ao mesmo tempo –, que podem ser agrupadas em índices, conhecidos como índices de conforto térmico (Frota; Schiffer, 2001).

2.2 BIOCLIMATOLOGIA

De acordo com Lamberts *et al.* (2016), a bioclimatologia é o estudo da interação entre o clima e os seres humanos. Embora as classificações climáticas possam variar entre os autores, geralmente se distinguem três tipos: macroclima, mesoclima e microclima. O macroclima refere-se às características climáticas de uma região, obtidas a partir de medições em estações meteorológicas. Por outro lado, o mesoclima e o microclima descrevem as variações locais, que inclui radiação solar, temperatura do ar, umidade e vento.

Conforme Lamberts *et al.* (2016), o arquivo climático TRY representa um ano de dados médios para um local específico, sem extremos de temperatura, e compreende as variáveis de temperatura de bulbo seco, temperatura de orvalho, umidade relativa do ar, direção e velocidade dos ventos, nebulosidade, pressão barométrica e radiação solar. O TMY, por sua vez, representa um ano climático combinando diversos meses de anos diferentes que não apresentam extremos térmicos, reunidos a partir de uma série de dados anuais disponíveis.

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) discutem a relação da bioclimatologia com a arquitetura, afirmando que esta busca utilizar, por meio de seus próprios elementos, as condições favoráveis do clima com o objetivo de satisfazer as exigências de conforto térmico do homem.

A Figura 1 mostra as estratégias de controle climático que deverão ser adotados no projeto arquitetônico visando o conforto térmico, conforme Watson e Labs (1983). Esta relaciona os princípios a serem considerados quando as condições climáticas proporcionam desconforto térmico por frio, no inverno, ou por calor, no verão (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014).

Figura 1: Estratégias de controle climático a serem adotadas no projeto arquitetônico

		CONDUÇÃO	CONVECÇÃO	RADIAÇÃO	EVAPORAÇÃO
INVERNO	Promover ganhos			Promover ganho de calor solar	
	Resistir às perdas	Minimizar fluxos de calor por condução	Minimizar fluxo de ar externo Minimizar infiltração de ar		
VERÃO	Resistir aos ganhos	Minimizar fluxos de calor por condução	Minimizar infiltração de ar	Minimizar ganho solar	Promover resfriamento evaporativo
	Promover Perdas	Promover resfriamento através do solo	Promover ventilação	Promover resfriamento radiativo	
	Fontes de calor		Atmosfera	Sol	
	Fontes de resfriamento	Solo	Atmosfera	Céu	Atmosfera

Fonte: Lamberts, Dutra, Pereira (2014)

2.3 GANHO DE CALOR PELOS ELEMENTOS VERTICAIS

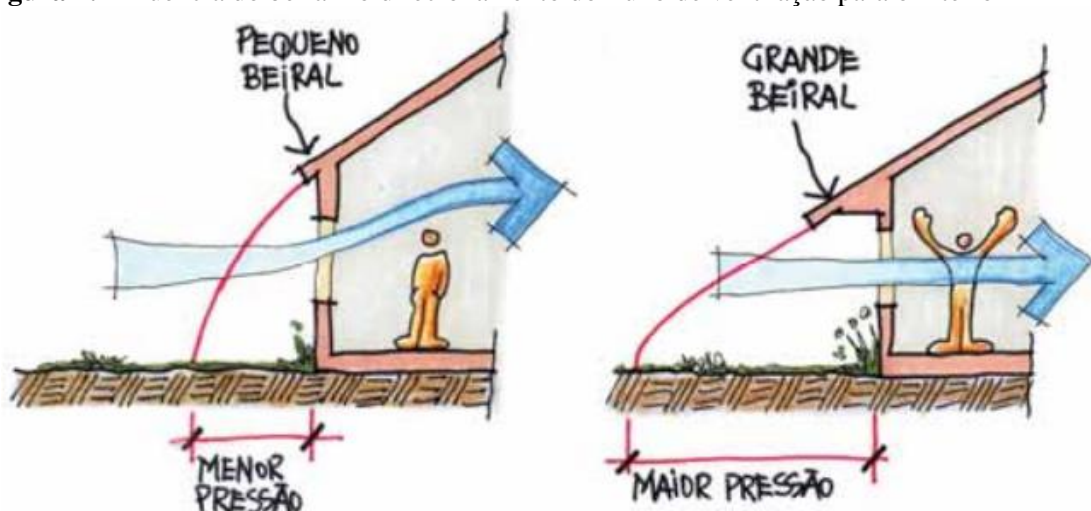
A incidência solar sobre as superfícies de um edifício resulta em um ganho de calor, que varia de acordo com a intensidade da radiação solar e as propriedades térmicas dos materiais dessas superfícies. Considerando que os instrumentos que registram a radiação solar, sendo uma variável climática, medem no plano perpendicular à incidência dos raios solares, normalmente é necessário realizar conversões dos resultados para que se entenda a incidência em fachadas e coberturas dos edifícios (Frota; Schiffer, 2001).

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a orientação ideal para iluminação natural é a Norte de uma edificação, devido à maior incidência solar, e considerando que a radiação irradiada é de calor, pode-se usar sombreamento nas aberturas de ventilação/iluminação voltadas para esta direção. A segunda melhor orientação é a direção sul pela constância da luz e baixa luminosidade direta. Os autores não recomendam orientar as edificações nas direções leste e Oeste, pois recebem luz solar direta com maior intensidade no verão e com menor intensidade no inverno, o que dificulta o projeto de proteções solares.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a orientação e implantação do edifício no terreno são fundamentais para a ventilação natural dos ambientes, priorizando o efeito das correntes de ar predominantes no período de verão para resfriar os ambientes, ao contrário que no inverno deve ser evitado para que não ocorra perdas de calor da edificação para o exterior. Os autores mencionam que os elementos como vegetação e superfícies construídas

afetam o ângulo de incidência e na intensidade do vento que atinge a edificação, e recomendam a construção de beirais para direcionar o fluxo de ar para o interior, além de servirem como uma proteção solar horizontal, e quanto mais largos forem os beirais (Figura 2), terá um aumento na zona de pressão do lado externo ao vão de abertura de ventilação/iluminação, e conseqüentemente, provocando aumento da circulação do ar para o interior da edificação.

Figura 2: Influência do beiral no direcionamento do fluxo de ventilação para o interior



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014)

Bittencourt e Cândido (2006) afirmam que a ventilação natural nos ambientes internos está relacionada a três fatores: o tamanho e localização das aberturas de entrada e saída do ar; o tipo e a configuração das aberturas e a localização de outros componentes como divisórias internas, marquises e brises. É importante manter a qualidade do ar interno, através de taxas de renovação de ar adequadas, além de promover o resfriamento fisiológico dos usuários, por serem aspectos complementares (Bittencourt e Cândido, 2006). No verão, a ventilação deve ser restrita aos horários em que a temperatura externa é mais elevada (entre 11h e 15h), enquanto no inverno a ventilação não deve ser empregada excessivamente, para evitar perdas de calor da estrutura (Lamberts *et al.*, 2010).

Lamberts *et al.* (2010) afirmam que, em períodos quentes, a ventilação pode comprometer o desempenho térmico de edificações feitas com materiais de alta inércia térmica. Isso ocorre porque os componentes construtivos, como paredes e coberturas, acumulam o calor do ambiente externo, e ao ventilar naturalmente, as superfícies internas entram em contato com o fluxo de ar cuja temperatura reflete com a do ambiente externo, provocando trocas de calor entre as superfícies e o ar, principalmente por convecção. Se a

temperatura externa for mais alta do que a interna, essas trocas tendem a aumentar as temperaturas das superfícies internas, acumulando calor nas paredes (Lamberts *et al.*, 2010).

Conforme Lamberts, Dutra e Pereira (2014), parte da radiação solar transmitida para o interior da edificação é responsável pelo ganho térmico no ambiente, e sabendo disso, esta impacta diretamente nas condições de conforto interno. Sendo assim, pode-se dimensionar e especificar corretamente as aberturas e os materiais a serem utilizados na construção da edificação, com fechamentos opacos ou transparentes.

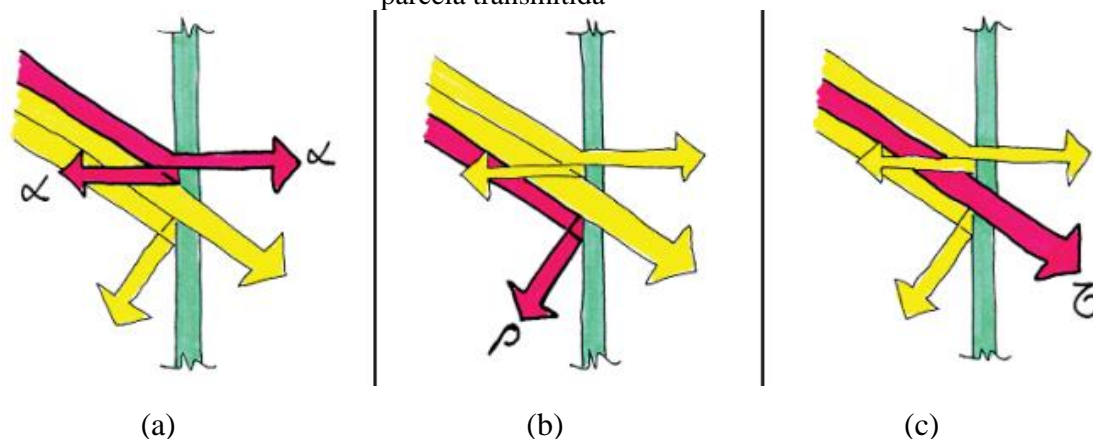
Em um fechamento opaco, a transmissão de calor acontece quando há diferença de temperatura entre as superfícies interna e externa, sendo que o fluxo de calor tende da superfície mais quente para a mais fria (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014).

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) explicam que nos fechamentos transparentes podem ocorrer três tipos básicos de trocas térmicas: condução, convecção e radiação. Sendo a radiação o principal fator nesse processo devido à sua parcela diretamente transmitida para o interior, que depende da transmissividade do vidro. As principais variáveis que podem alterar o aporte de calor pela abertura são definidas por Koenigsberger *et al.* (1977): orientação e tamanho da abertura, tipo de vidro e uso de proteções solares internas e externas.

Embora a abertura ocupe apenas uma pequena parte da área total do fechamento, o volume de calor que entra no ambiente por meio dela representa cerca de 50% do total. Dessa forma, o ganho térmico total através das janelas é quase seis vezes maior do que o ganho através de fechamentos opacos. Portanto, os fechamentos transparentes são os principais responsáveis pelos ganhos ou perdas térmicas em edificações (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014).

O vidro é classificado como agente causador de desconforto térmico em uma edificação, influenciando nas condições térmicas do ambiente, visto que suas propriedades térmicas fazem com que o vidro seja mais suscetível, em comparação com materiais opacos, às trocas de calor com o ambiente externo (Tsikaloudaki *et al.*, 2012). Segundo Marinowski (2005), a radiação solar é um dos principais fatores que afetam as trocas térmicas através das janelas compostas por vidro transparente, que permite a passagem de um grande volume de radiação solar. No caso do fechamento transparente, podem ocorrer que parte seja absorvida, ou refletida ou transmitida para o interior, a depender da absorvidade (Figura 3-a), refletividade (Figura 3-b) e transmissividade (Figura 3-c), conforme Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Figura 3: Comportamento da radiação solar no vidro: a) parcela absorvida; b) parcela refletida; c) parcela transmitida



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014)

Na Figura 3-a, a parcela absorvida se converte em calor no interior do elemento transparente e pode ser reemitida tanto para o exterior quanto para o interior. Na Figura 3-b, a parcela refletida pelo vidro, ocorre quando o ângulo de incidência de radiação for maior, assim quanto maior o ângulo, maior a parcela refletida. Na Figura 3-c, através da transparência do vidro, uma parte da radiação solar é transmitida diretamente para o interior da edificação.

Os vidros estão se tornando cada vez mais comuns em fachadas por proporcionar maior contato visual com o exterior, aproveitar a luz natural e permitir a entrada do calor solar durante a maior parte do dia. No entanto, a transparência excessiva pode ser um problema, visto que isso pode levar ao superaquecimento dos ambientes internos em dias quentes ou à perda de calor interno durante períodos frios (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014).

Conforme Lamberts, Dutra e Pereira (2014), uma proteção solar pode ser realizada através de diversos elementos arquitetônicos, como marquises, varandas, grandes beirais e a própria volumetria do edifício, que pode ser saliente ou reentrante, criando sombras onde for necessário. A vegetação também é uma estratégia para controle solar nos períodos mais quentes, sendo que árvores e outros tipos de vegetação caducifólia são bastante efetivas para controlar o sol do verão e permitir o acesso solar no inverno.

2.4 LEGISLAÇÃO EM RELAÇÃO À ÁREA DE ABERTURAS PARA AMBIENTES RESIDENCIAIS

2.4.1 NBR 15575/2021 e as áreas dos vãos de iluminação

A Norma NBR 15575 (ABNT, 2021), é a primeira regulamentação brasileira que aborda o desempenho de edificações habitacionais, enfatizando as necessidades e expectativas dos usuários em termos de conforto e segurança.

Um dos requisitos analisados pela norma está relacionado à habitabilidade e ao desempenho térmico de edificações habitacionais, que pode ser analisado através de dois métodos que serão explanados nos itens a seguir. A norma apresenta os requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de vedações verticais externas, através dos requisitos de adequação das paredes externas, no qual traz como critérios o atendimento ao desempenho mínimo para transmitância térmica e capacidade térmica.

Outro requisito está relacionado as aberturas para ventilação, sendo que a NBR 15575 (ABNT, 2021) preconiza que os ambientes de permanência prolongada devem ter aberturas para ventilação com áreas que atendam à legislação do local da obra. Caso não existam exigências, fica estabelecida uma relação entre a área de abertura e a área de piso do ambiente para cada Zona Bioclimática, como é estabelecido na NBR 15220-3 (ABNT, 2005), porém destacam-se algumas divergências em relação a estas áreas. Nota-se que a orientação solar na qual a abertura está voltada, não é mencionada, como também, se a área mínima é dedicada para ventilação ou só para iluminação do ambiente avaliado. Outro ponto não informado é a limitação da área máxima do vão em relação ao piso ou a fachada da edificação.

Conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2021), a simulação computacional deve considerar o ponto mais crítico do ponto de vista térmico, sendo que na estação climática do verão, é recomendado simular uma janela do ambiente voltada para a direção Oeste e quando for possível, realizar simulação de janela do ambiente voltada para o Norte. Para as edificações que não atendam aos critérios estabelecidos para o verão, deve-se simular as seguintes configurações:

- Configurar taxa de ventilação de 5,0 renovações por hora (ren/h) e janelas sem sombreamento;
- Inserir proteção solar externa ou interna, com dispositivo capaz de cortar, no mínimo, 50% da radiação solar direta que entraria pela janela, com taxa de 1,0 ren/h;

- Combinar a inserção de dispositivo de proteção solar e taxa de ventilação de 5,0 ren/h.

2.4.2 NBR 15220-3/2005 e as áreas dos vãos de aberturas

A Norma de Desempenho Térmico para Edificações de Interesse Social, NBR 15220-3 (ABNT, 2005) propõe a divisão do território brasileiro em oito zonas bioclimáticas quanto à estação climática predominante, conforme a Figura 4, e para cada uma desses locais, propôs um conjunto de recomendações para otimizar o desempenho térmico das edificações a partir de técnicas construtivas, garantindo uma melhor adaptação ao clima local.

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) explicam que a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) define as características principais e diretrizes construtivas para cada uma dessas oito zonas bioclimáticas a partir dos vãos de abertura das janelas, sobre o sombreamento necessário, tipo ideal de material a ser aplicado em paredes e coberturas, além de estratégias bioclimáticas recomendadas para o local.

Figura 4: Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: Lamberts, Dutra, Pereira (2014)

O município de Barreiras (BA) é indicado pela NBR 15220-3 (2005) no zoneamento bioclimático 7. Dentre as recomendações da NBR 15220-3 (ABNT, 2005) para a cidade podem-se citar: a) aberturas para ventilação no tamanho pequeno com áreas entre 10% a 15% da área do piso (Tabela 1); b) o sombreamento das aberturas deve ser realizado independente da época do ano (Tabela 2); c) as vedações externas devem ser do tipo pesada (Tabela 3); e d) como estratégia de condicionamento térmico passivo, tem-se o resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento, além da ventilação seletiva (Tabela 4).

Tabela 1: Aberturas para ventilação, adaptadas para zona bioclimática 7

Aberturas para ventilação	A (em % da área do piso)
Pequenas	$10\% < A < 15\%$

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005)

Tabela 2: Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona bioclimática 7

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Pequenas	Sombrear aberturas

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005)

Tabela 3: Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 7

Vedações externas

Parede: Pesada

Cobertura: Pesada

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005)

Tabela 4: Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 7

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005)

Exemplo de resfriamento evaporativo direto são o uso de vegetação, fontes d'água ou outro recurso que se fundamente na evaporação da água diretamente no ambiente que se quer resfriar. A massa térmica refere-se ao uso de materiais com alta capacidade térmica, ou seja, com elevado armazenamento de calor. A ventilação seletiva aproveita a diferença de entalpia entre o ar diurno e noturno, favorecendo o resfriamento dos espaços internos das edificações.

No anexo da referida norma estão expostas as recomendações e diretrizes para adequação da edificação ao clima local, tal como Tabela 5, que indica as propriedades admissíveis para alvenaria na zona bioclimática 7.

Tabela 5: Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa, adaptado para a zona bioclimática 7

Vedações externas	Transmitância térmica – U W/m².K	Atraso térmico – ϕ h	Fator Solar - FS_o %
Paredes pesadas	$U \leq 2,20$	$\phi \leq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
Coberturas pesadas	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 6,5$	$FS_o \leq 6,5$

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005)

2.4.3 Plano Diretor e Código de obras do Município de Barreiras (BA)

O Código de Obras é um conjunto de normas que permite à administração municipal controlar e supervisionar o espaço construído e seus arredores. Nele estão estabelecidos os conceitos fundamentais que asseguram às edificações o conforto ambiental, a segurança, a eficiência energética, a saúde e a acessibilidade (Ferreira, 2019).

Conforme o Plano Diretor de Barreiras – BA (Barreiras, 2019), o Código de Obras e Edificações institui parâmetros para os diversos tipos de edificações, critérios para elaboração de projetos, normas técnicas de construção individual ou coletiva e exigências de natureza urbanística, espacial, ambiental e sanitária, submetendo o direito de construir ao princípio da função social da propriedade urbana.

As diretrizes a respeito da iluminação e ventilação dos compartimentos da edificação são apresentadas pelo Artigo 76 do Capítulo III, Seção II, da Lei 648/2004, informa que nenhuma abertura de iluminação e ventilação de edificação poderá distar menos de 1,50m das divisas do terreno, medido na perpendicular a qualquer de seus pontos, e que os vãos de iluminação e ventilação dos compartimentos deverão atender as indicações da Tabela 6. No artigo 77 da mesma Lei, quando o compartimento dispuser de uma só abertura de iluminação para o exterior, sua profundidade medida a partir dessa abertura não poderá exceder de 3 vezes seu pé direito, para que seja considerada como dispositivo de iluminação e ventilação. Para o compartimento dormitório, a área mínima do vão para iluminação e ventilação deve ser 1,20m² ou possuir uma razão correspondente a 1/6 da área do piso, de modo a adotar o maior valor. A dimensão mínima do compartimento deve ser de 7,00m², o diâmetro do raio

inscrito no ambiente deve ser de 1,80m, o pé direito deve ser no mínimo 2,60m, e a porta de acesso possuir dimensões de 0,70x2,10m.

Tabela 6: Dimensões mínimas relativas às edificações

COMPARTIMENTO	ILUMINAÇÃO E VENTILAÇÃO		DIMENSÃO DO COMPARTIMENTO			
	Área do vão (m ²)	Razão de iluminação/ventilação	DC mín (m ²)	Ø insc (m)	pé direito (m)	Acesso (m) ^{***}
Dormitório ou repouso*	1,20	1/6	6,5*	1,80	2,60	0,70x2,10
Estar	1,20	1/6	8,50	2,40	2,60	0,70x2,10
Trabalho ou estudo	1,20	1/6	6,50	1,80	2,60	0,70x2,10
Preparo ou consumo alimentos	1,20	1/6	6,50	1,80	2,60	0,70x2,10
Tratamento da saúde	1,20	1/6	6,50	1,80	2,60	0,70x2,10
Reunião ou recreação	1,20	1/6	6,50	1,80	2,60	0,70x2,10
Circulação ou acesso de pessoas	0,60	1/10	-	0,80	2,30	0,60x2,10
Higiene pessoal	0,60	1/10	3,00**	0,80	2,30	0,60x2,10
Depósito	0,60	1/10	2,00	0,80	2,30	0,60x2,10
Lavagem de roupa	0,60	1/10	2,00	0,90	2,30	0,60x2,10
Outros usos de permanência prolongada	1,20	1/6	6,50	1,80	2,60	0,70x2,10
Outros usos de curta permanência	0,60	1/10	5,00	0,90	2,30	0,60x2,10

* No mínimo um dormitório ou repouso deverá ter área maior ou igual a 7,00 m²

** No mínimo um sanitário deverá ter área maior ou igual a 3,00 m²

*** No mínimo um acesso deverá ter a dimensão de 0,80 x 2,10m²

Onde:

Razão de Iluminamento/ventilação = $\frac{\text{Área de iluminação/ventilação}}{\text{Dimensão do compartimento}}$

Acesso = dimensão do vão de acesso

Ø insc = diâmetro do raio inscrito

Pé direito = distância entre o piso e o teto

Fonte: Barreiras (2019)

2.5 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS SOBRE DESEMPENHO TÉRMICO APLICADO ÀS EDIFICAÇÕES

Diversos estudos mostram que o desempenho térmico de edificações é um tema de interesse e progresso na área, como forma de identificar e implementar soluções arquitetônicas e tecnológicas que otimizam a eficiência energética. Nesta seção serão apresentados alguns trabalhos que contribuem para discussão sobre o tema e, também, para analisar os resultados deste trabalho.

Nico-Rodrigues et. al (2015) avaliaram a influência de dois modelos de janelas, usuais na cidade de Vitória (ES), no desempenho térmico em edificações residenciais multifamiliares, com ênfase na ventilação natural. O estudo foi dividido em três etapas:

caracterização dos modelos usuais nas edificações multifamiliares; definição do método para análise do desempenho térmico em ambientes ventilados naturalmente com o modelo usual, considerando a frequência de desconforto térmico relacionada com a temperatura em função do tempo para a estação verão; e simulações utilizando o software *DesignBuilder*. Os autores concluíram que o modelo comumente utilizado na cidade, denominado M1, não é adequado às condições climáticas, já que a ausência de componentes permeáveis à ventilação e dispositivos de sombra são alguns dos fatores essenciais para a definição de condições mais confortáveis termicamente. As condições internas com o uso do modelo M2 (mesmas dimensões do M1 mas com panos em venezianas e dispositivos de sombra na largura da janela) demonstraram que a orientação Oeste e o 3º pavimento obtiveram melhores condições de desempenho, e com o modelo M1 a mesma orientação teve o pior resultado. Os resultados demonstrados pelo uso do modelo M2 confirmaram a necessidade de janelas que permitam controlar a ventilação e elementos para proteger da incidência solar nos períodos mais quentes.

Amaral (2017) analisou, por meio de simulação computacional, se o atendimento à normatização brasileira garante o conforto térmico e a definição de uma diretriz de ventilação natural para o conforto térmico baseada em renovações de ar por hora. A simulação se baseou em uma edificação inserida em um meio urbano em relação à ventilação natural e às temperaturas operativas. Para a representação do meio urbano, desenvolveu-se modelos teóricos de entorno baseados nas características de adensamento encontradas em cidades brasileiras de diferentes climas, gerando três modelos: um de baixa densidade, dois com alta densidade; um com alturas constantes e outro com alturas variáveis. A partir dos resultados, o autor observou que o modelo de alta densidade com altura variável reproduz melhor o escoamento do vento e os valores de coeficiente de pressão nas fachadas, comparados a resultados encontrados na literatura. A edificação é bem avaliada segundo os parâmetros normativos de desempenho e do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), divergindo dos resultados de horas em conforto obtidos no estudo de caso. A baixa correlação entre as renovações de ar por hora e as temperaturas operativas internas não permitiram a definição de uma diretriz de renovação de ar para conforto térmico.

Silva (2019) estudou a influência de aberturas de ventilação / iluminação na avaliação do desempenho térmico de vedações verticais na cidade de Florianópolis – SC. O trabalho foi realizado a partir de simulações computacionais em ambientes que teriam seu desempenho térmico aprovado pelo método simplificado de cálculo da NBR 15575/2021,

que utilizou três tipos de dimensões de aberturas, quatro orientações solares, dois valores de trocas de ar para verão e um valor de troca de ar para o inverno, três valores de sombreamento e três valores de absorvância solar das paredes. A autora concluiu que para o verão 85% dos casos não atenderam a norma, enquanto para o inverno somente 2% não atenderam e com o aumento das áreas de abertura, há um aumento na temperatura interna da edificação. De um ponto de vista mais crítico, para verão em 98% dos casos com abertura na parede externa voltada para Oeste, não atenderam a norma, enquanto para inverno, apenas 4% dos casos com abertura na parede externa sul, não atenderam aos critérios da norma; no verão, considerando apenas as aberturas com a menor área simulada (16% da área do piso), houveram 6% dos casos que atenderam a NBR 15575. Porém no inverno, para as áreas maiores de 25% e 33% todos os casos atenderam a norma, e apenas 11% dos casos não atendem, quando a abertura é de 16% da área do piso; a combinação com os parâmetros normativos utilizados verificou-se que, com o aumento da área de abertura, maiores foram as diferenças de temperaturas. E ainda foi possível verificar, quando realizadas as simulações, que parâmetros como orientação solar são predominantes num melhor desempenho térmico dos ambientes.

Pagel et. al. (2022) avaliaram o desempenho térmico em uma sala de aula sob diferentes configurações de modelos de janelas e portas nas cidades de Vitória/ES e Belém/PA, por meio de simulações de desempenho térmico e de dinâmica dos fluidos computacional para a intensidade de desconforto térmico e do consumo energético. Para análise do modelo nas duas cidades considerou-se quatro possibilidades de orientação solar e a associação entre diferentes tipologias de aberturas, como: janela padrão do projeto original, adição de pivotante superior, adição de peitoril ventilado, adição de pivotante superior e peitoril ventilado. Em todas as situações analisadas, o melhor desempenho foi registrado pela janela padrão complementada com pivotantes e peitoril ventilado (M4), seguida pela janela com peitoril ventilado (M3), pela janela com pivotantes (M2), e pela janela padrão (M1). Isso é evidenciado pela redução do índice do desconforto térmico (ITD), frequência do desconforto térmico (FTD) e do consumo de energia ao longo do ano, tanto em Belém quanto em Vitória, ocasionado pelo aumento da área de ventilação da janela. A redução do tamanho das saídas de ar, representadas pela porta baía (PB), ampliou a velocidade do ar por essas aberturas na maioria dos casos estudados, aumentou a distribuição e o movimento do ar dentro da sala de aula e, conseqüentemente, diminuiu a temperatura do ar no ambiente. Os autores concluíram que a adição do peitoril ventilado promove o aumento da velocidade do ar na entrada na abertura e melhora significativamente o desempenho

térmico na sala de aula. O uso de brise-soleil reduz em até 50% e 13% o consumo energético no ambiente, em Belém e Vitória, respectivamente.

Ferreira (2022) avaliou os impactos causados pela variação do tamanho de aberturas no conforto térmico em uma residência unifamiliar, através de simulações computacionais de desempenho termo-energético em uma cidade representante de cada uma das zonas bioclimáticas, conforme a NBR 15220-1. As aberturas foram configuradas para atender variadas em pequena (10% da área do piso), média (25% da área do piso), grande (40% da área do piso) e uma quarta configuração como abertura grande com a presença de sombreamento. O autor obteve variações de temperatura operativa de cada zona térmica, que leva em conta as trocas de calor causadas por fenômenos térmicos como os de convecção e radiação. De forma geral, os resultados obtidos para as zonas bioclimáticas 1 a 5 foram aberturas grandes para os dormitórios e aberturas pequenas para as salas ou aberturas grandes e sombreadas. Para a zona bioclimática 6, as aberturas dos dormitórios devem ser médias a grandes e pequenas para as salas. As aberturas grandes nos dormitórios reduzem as horas de desconforto por frio, enquanto as aberturas pequenas na sala reduzem o desconforto por calor. Para as zonas bioclimáticas 7 e 8, todos os ambientes devem possuir aberturas grandes e sombreadas para a obtenção de melhores condições de conforto térmico no modelo residencial analisado. Os resultados apontam a importância do dispositivo de sombreamento das aberturas no conforto térmico para os climas mais quentes, como as zonas bioclimáticas 6 a 8.

Silva (2021) analisou o desempenho térmico de diferentes composições de paredes e a influência dos parâmetros orientação solar, absorvância térmica e espessura dos materiais quando submetidos às condições climáticas do município de Barreiras – BA. Foram avaliadas 6 composições de paredes propostas pelo trabalho de Araújo (2018), e com uso de simulação computacional, investigou o desempenho térmico do componente pela variável de resposta carga térmica para cada um dos protótipos na condição sem variação de parâmetro, e com alterações paramétricas, como da orientação solar e absorvância foram variados em dois e três níveis, respectivamente, para cada material que compunha uma parede. O autor conclui que as duas paredes comumente utilizadas no município apresentaram maiores valores de carga térmica de resfriamento (CgTR) – não apresentaram cargas térmicas de aquecimento – dentre todas as paredes analisadas, configurando os piores desempenhos, e as paredes que possuíam materiais isolantes em sua composição, resultaram nos menores valores cargas térmicas de resfriamento. É possível observar pela análise de desempenho térmico com a variável de resposta carga térmica que a propriedade de

transmitância térmica das paredes é que mais influenciou nos resultados, e que a orientação solar apareceu com um parâmetro com influência significativa na carga térmica em quase todas as paredes. O parâmetro absorvância térmica resultou em um percentual de acréscimo de CgTR até quatro vezes maior que o obtido pela mudança de orientação de Oeste para sul.

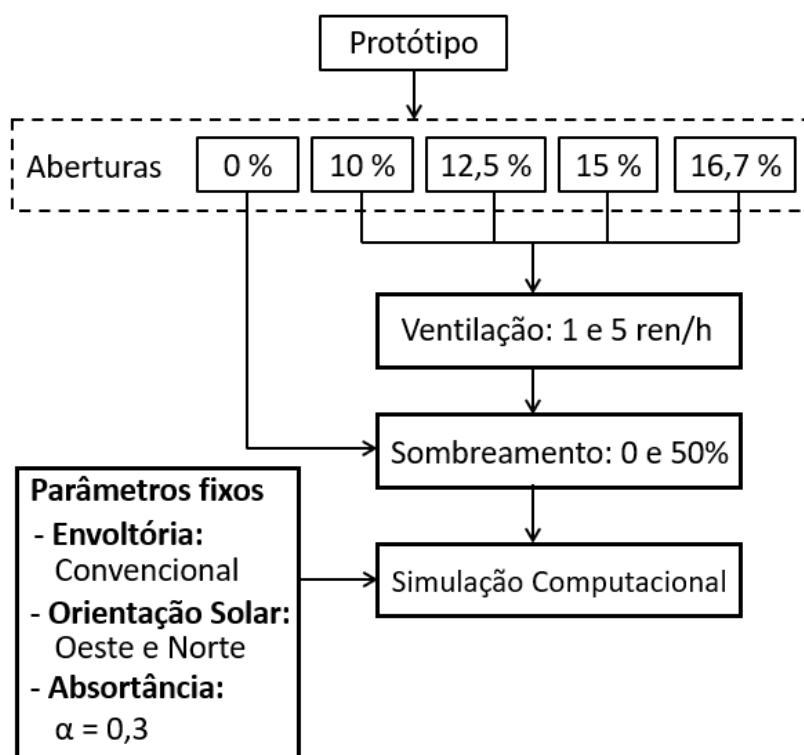
Silva (2022) analisou o desempenho térmico das coberturas quando submetidas às condições climáticas do município de Barreiras – BA, através de simulação computacional, que investigou cinco tipos de materiais para cobertura, em sete composições diferentes, que se diferenciavam por três camadas: telha, laje e forro. A partir dos resultados obtidos, a autora concluiu que o aumento das camadas nos modelos de cobertura influencia diretamente na queda de Carga térmica de resfriamento (CgTR), e melhora o desempenho térmico da edificação; os modelos de telhas cerâmicas que atenderam à norma NBR 15220/2005 quanto à transmitância térmica foram aquelas combinadas com forro de madeira e com laje e forro; do grupo das telhas de fibrocimento, foram os modelos aplicados com laje e forro; do grupo das telhas metálicas, os foram os modelos combinados com forro e com laje e forro. Ao passo que com a utilização de isotelha, os valores nulos de Carga térmica de resfriamento (CgTR) para todos os sete modelos de cobertura atendeu ao critério da norma. A cobertura com laje aparente e EPS teve menor valor de Carga térmica de resfriamento (CgTR) comparado à laje maciça, mas nenhum dos dois modelos de laje aparente cumpriu os critérios da norma para transmitância térmica.

Percebe-se a importância da simulação computacional para a análise do desempenho térmico em edificações, uma vez que permite uma avaliação precisa e detalhada de como o edifício interage com o ambiente externo, considerando fatores como clima, materiais de construção e orientação solar. Ela possibilita a comparação de diferentes cenários, como a aplicação de isolamentos térmicos e o uso de tecnologias de ventilação, otimizando o conforto térmico dos ocupantes e a eficiência energética. Além disso, essa ferramenta ajuda a reduzir custos ao evitar soluções ineficazes e a garantir que os projetos atendam às regulamentações de sustentabilidade e eficiência energética.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho teve o intuito de avaliar a influência das aberturas de iluminação e ventilação no desempenho térmico de paredes sob as condições climáticas da cidade de Barreiras, Bahia. A Figura 5 apresenta um fluxograma das etapas que abarcou: 1) a elaboração de um modelo de quarto ou sala residencial no software SketchUp; 2) realização de simulação computacional pelo programa EnergyPlus, conforme preconiza as normas técnicas vigentes de desempenho e conforto térmico das edificações, visando obter valores de cargas térmicas para as variações de aberturas de janelas (variando entre 0 e 16,7% da área do piso do ambiente), condições de circulação de ventilação (1 ren/h e 5 ren/h), sombreamento da janela (0 e 50%), e parâmetros fixos: material da envoltória, orientação solar Oeste e Norte da edificação e coloração clara para as paredes (absortância = 0,3).

Figura 5: Fluxograma das etapas



Fonte: Autor (2024)

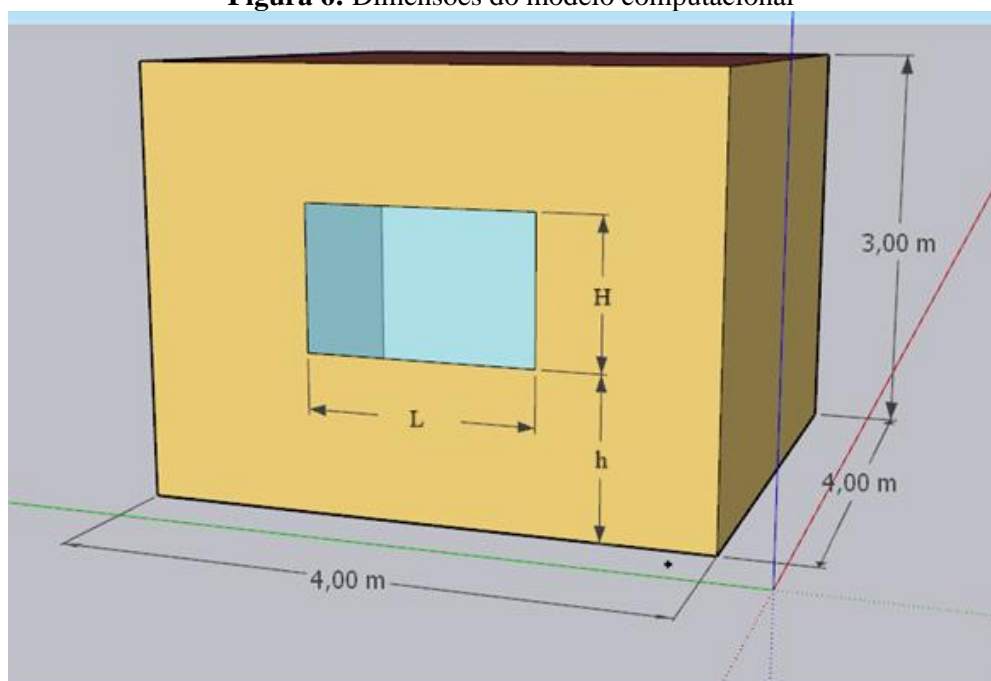
As dimensões das aberturas das janelas escolhidas para a simulação foram com base da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), que indica aberturas pequenas, com intervalo de 10% a 15% da área do piso do ambiente. A porcentagem que determina o Código de Obras do município de Barreiras é 1/6 da área do piso do ambiente, ou 16,7%. A escolha da orientação

solar foi pela situação mais crítica, em relação ao desempenho térmico para a estação verão, sendo o Oeste. A ventilação escolhida foi a indicada pela norma, considerando 1 ren/h e 5 ren/h. Posteriormente, será explicado detalhadamente a escolha de cada parâmetro.

3.1 PROTÓTIPOS

As dimensões e características do modelo foram definidas a partir da Lei N° 648/2004 de 10 de novembro de 2004 (Código de Obras de Barreiras) que representa um ambiente de permanência prolongada, como por exemplo, um quarto ou sala de uma edificação. A Lei preconiza que o compartimento de dormitório ou repouso deverá ter uma área mínima de 7,00m² e, para uma sala de estar é de 8,50m²; as aberturas de vãos iluminação/ventilação destes ambientes devem ter a razão de 1/6 da área de piso; a altura entre o piso e teto (pé direito) deverá ter no mínimo 2,60m (Barreiras, 2019). Diante das informações mencionadas, definiu-se um modelo de 4,00m x 4,00m (total de 16m²), que utiliza valores inteiros para facilitar a simulação, e um pé direito de 3,00m de altura, um valor usual das construções cidade (Figura 6). Os modelos foram simulados sem a presença de porta.

Figura 6: Dimensões do modelo computacional



Fonte: Autor (2024)

Para determinar os vãos de aberturas de iluminação/ventilação, considerou as dimensões indicadas para a Zona Bioclimática 7, conforme a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), que recomenda aberturas entre 10% a 15% da área do piso do ambiente. Além disso, o

Código de Obras de Barreiras informa que as aberturas devem ser 1/6 da área do piso (16,7%). Portanto, foram adotadas as aberturas que atendem a 10%, 12,5%, 15% e 16,7% da área do piso, posicionadas na face Oeste e com um peitoril de 1,10m; para fins de comparação, um modelo sem janela foi simulado. As dimensões das aberturas estão discriminadas na Tabela 7, em que L é largura e H é a altura da janela, e h é altura do peitoril, representadas na Figura 6.

Tabela 7: Dimensões das janelas usadas para simulação, em metros

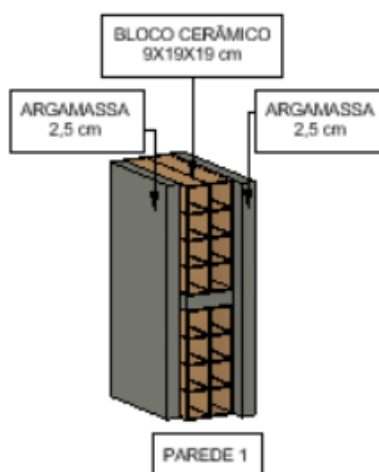
Abertura (%)	Largura (L)	Altura (H)	Altura do peitoril (h)
0	-	-	-
10	1,60		
12,5	2,00	1,00	1,10
15	2,40		
16,7	2,70		

Fonte: Autor (2024)

3.1.1 Propriedades da envoltória e janelas

Em relação aos materiais do modelo, considerou-se o modelo “Parede 1”, do trabalho de Silva (2021), em que a alvenaria é composta por argamassa externa de 2,5cm, bloco cerâmico de 9x19x19cm e argamassa interna de 2,5cm, conforme ilustrado pela Figura 7 e as propriedades dos materiais na Tabela 8.

Figura 7: Ilustração da composição da parede escolhida para a simulação

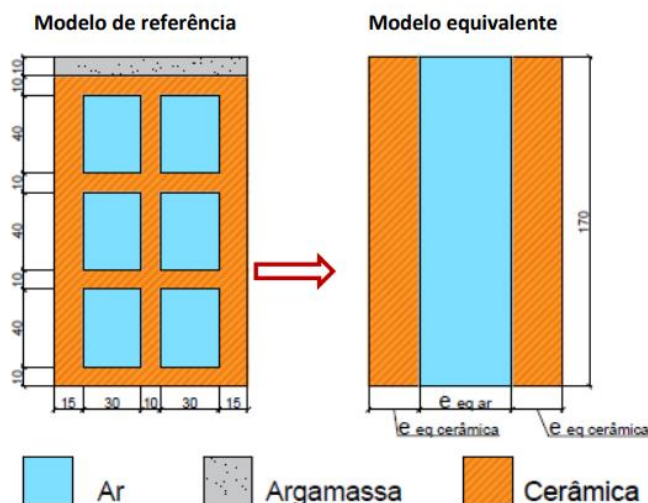


Fonte: Silva (2021)

Weber *et al.* (2017) ressalta que o *EnergyPlus* não considera as características de espessura de assentamento entre um bloco e outro, nem as divisões entre os furos dos blocos

onde se concentram as câmaras de ar. Sendo assim, realizaram o cálculo de espessuras equivalentes para diferentes composições de elementos construtivos, como visto na Figura 8.

Figura 8: Modelo de referência e modelo equivalente no EnergyPlus



Fonte: Weber *et al.* (2017)

Tabela 8: Propriedades dos materiais utilizados

	Material	Espessura (cm)	Condutividade - λ (W/m.°C)	Densidade - ρ (kg/m ³)	Calor específico - c (kJ/kg.K)
Alvenaria	Argamassa externa	2,50	1,150	2000	1,00
	Bloco cerâmico - 9x19x19 cm	1,30	0,900	1600	0,92
	Câmara de ar	6,40	0,356	-	-
	Bloco cerâmico - 9x19x19 cm	1,30	0,900	1600	0,92
	Argamassa externa	2,50	1,150	2000	1,00
Janelas	Vidro simples	0,03	0,9	-	-

Fonte: Adaptado de Weber *et al.* (2017)

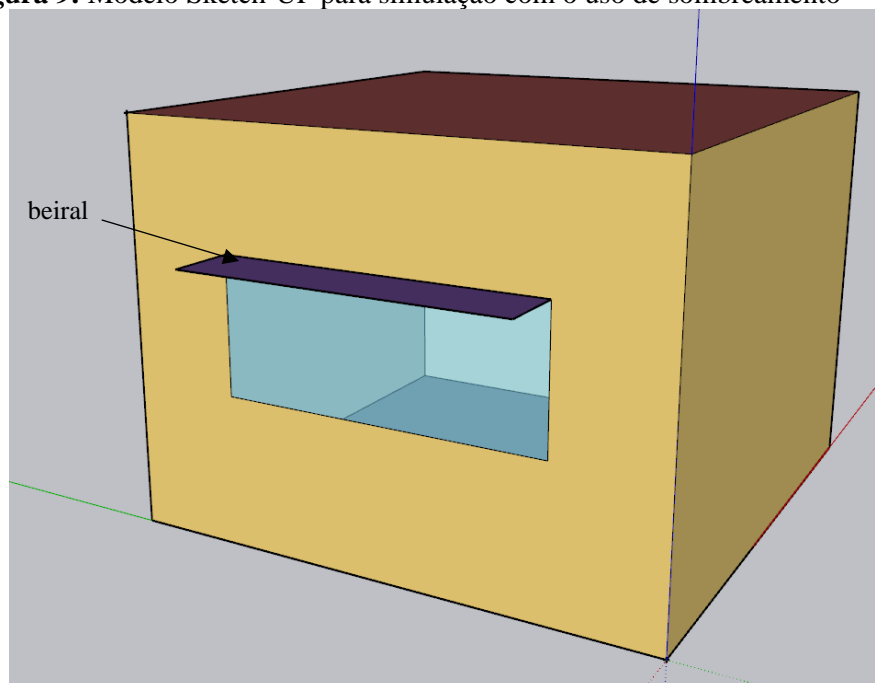
Foram utilizadas paredes em cores claras, cuja absorvância tem o valor de $\alpha=0,3$, que conforme discutido no trabalho de Silva (2021), quanto menor o valor de α , menor será a energia absorvida pela superfície e que resultará na redução da temperatura da superfície externa, e por consequência, menor volume de calor armazenado e a ser transferido para a face interna da parede. Portanto, considerou-se para o presente trabalho um valor de absorvância que favorecesse o conforto térmico do ambiente, não sendo uma variável de entrada de interferência nos resultados das simulações.

Além disso, definiu-se um tipo de vidro para a simulação, em que considerou o vidro liso simples, de 3 mm de espessura e transparente, comumente utilizado na construção civil e visto em outros estudos, como no trabalho de Silva (2019), e as suas propriedades constam, também, na Tabela 8.

3.1.2 Sombreamento

Utilizou-se nos modelos um tipo de marquise que simulasse 50% de sombreamento sobre a janela e comparou-se com modelos sem o recurso supracitado (0%), conforme beiral acima da janela ilustrado na Figura 9.

Figura 9: Modelo Sketch-UP para simulação com o uso de sombreamento



Fonte: Autor (2024)

A norma NBR 15575 (ABNT, 2021), também, recomenda realizar simulações com a orientação solar da edificação voltada para o Oeste e Norte, no entanto deverá identificar a condição de implantação mais crítica do ponto de vista térmico; foi considerado a parede com a janela num dia de verão direcionado para Oeste para atender o recomendado, pois recebem grande intensidade de radiação solar, sujeita ao pico de radiação.

3.1.3 Ventilação

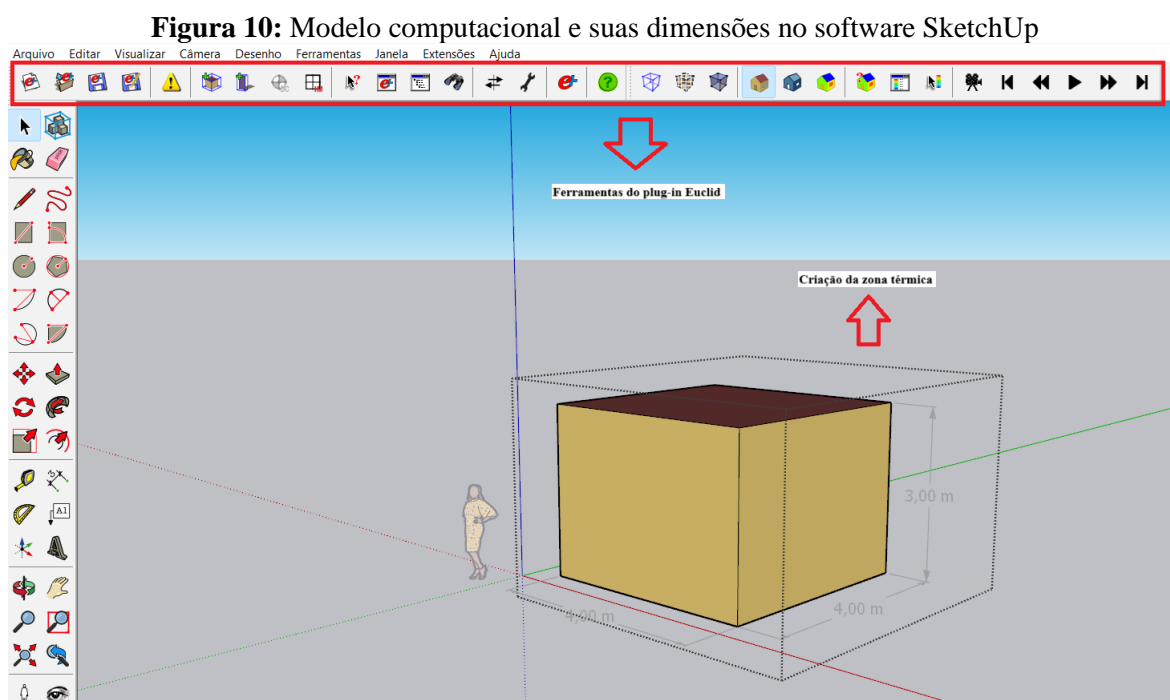
A taxa de ventilação refere-se ao volume de ar fresco que circulou no cômodo por unidade de tempo (renovação por hora ou ren/h) e depende das dimensões do ambiente para gerar o volume (m^3) e o fluxo de ar (m^3/s), o que contribui auxiliar na remoção de calor

excessivo e umidade da edificação. Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2021) deve-se investigar trocas de ar com a janela com uma das folhas aberta e gerando 5 ren/h ou taxas de ventilação de 50% e, também, na condição de janela fechada com 1 ren/h, em que considera entrada de ar pelas frestas das esquadrias, ou taxa de ventilação de 0%.

3.2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Para a realização do trabalho, utilizou-se o método de avaliação de desempenho térmico pela Simulação Computacional recomendado pela NBR 15575 (ABNT, 2021), que consiste inserir um modelo e seus parâmetros no software EnergyPlus.

O protótipo foi gerado no software SketchUp com auxílio da extensão Euclid (Figura 10), que é um editor para criação e modificação de geometria para modelos de energia de construção, dentre elas criar zonas térmicas – onde ocorrerão as trocas de calor –, estabelecendo as dimensões e propriedades das superfícies do ambiente. É gerado um arquivo no formato ".idf" para o simulador EnergyPlus.



Fonte: Autor (2024)

Após a simulação, o usuário determina quais variáveis de resposta, que estão relacionadas com o desempenho termo-energético da edificação, deseja obter no relatório (Figura 33 do Anexo A).

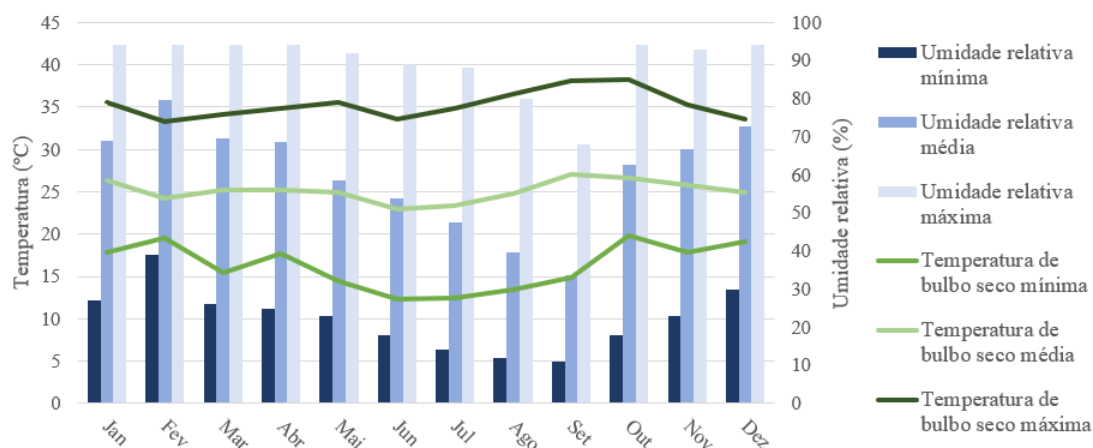
3.2.1 Definição do arquivo climático

A simulação do trabalho foi realizada para a cidade de Barreiras - BA, e utilizou o arquivo climático disponível no site “climate.onebuilding.org”, que dispõe das informações meteorológicas do município.

A norma de desempenho NBR 15575-1 (ABNT, 2021), que estabelece os requisitos e critérios de desempenho, não exige uma análise do desempenho térmico na estação climática do inverno nas zonas bioclimáticas 6, 7 e 8. Portanto, para a cidade de Barreiras, que está inserida na zona 7, foram realizadas as simulações apenas para a estação climática do verão.

Conforme a norma de desempenho NBR 15575-1 (ABNT, 2013), o dia típico de verão é definido como o dia mais quente do ano, com base nos valores da temperatura do ar do local. De acordo com o arquivo climático utilizado, em que os valores de referência compreendem os anos de 2007 a 2021, o dia 17/09 foi considerado o dia típico de verão e será definido como o dia para a realização das simulações. A Figura 11 representa a relação das variáveis temperatura e umidade relativa do ar, com seus valores máximos, mínimos e médios mensais.

Figura 11: Temperatura e umidade relativa do município de Barreiras conforme arquivo climático

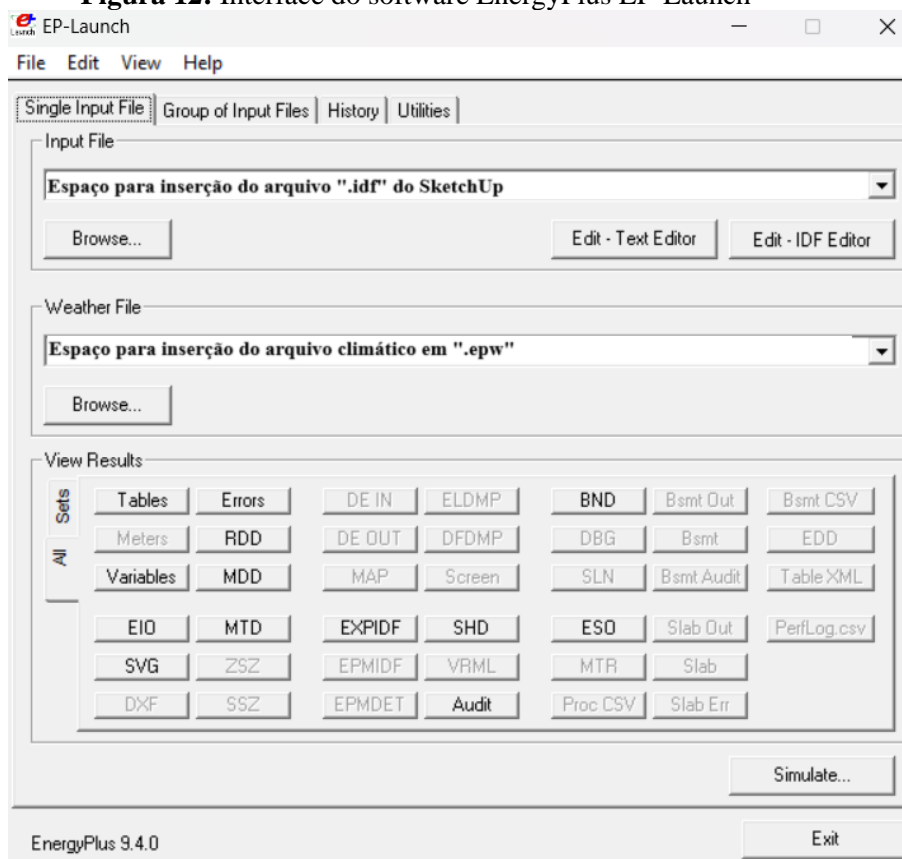


Fonte: Adaptado de Climate One Building (2023)

3.2.2 Configurações de simulação

Na interface do EP-Launch (Figura 12) do ambiente do EnergyPlus são realizadas as configurações das simulações, onde serão inseridos os modelos dos ambientes em arquivos de extensão “.idf” e o arquivo climático da cidade de Barreiras-BA, em arquivo de extensão “.epw”.

Figura 12: Interface do software EnergyPlus EP-Launch

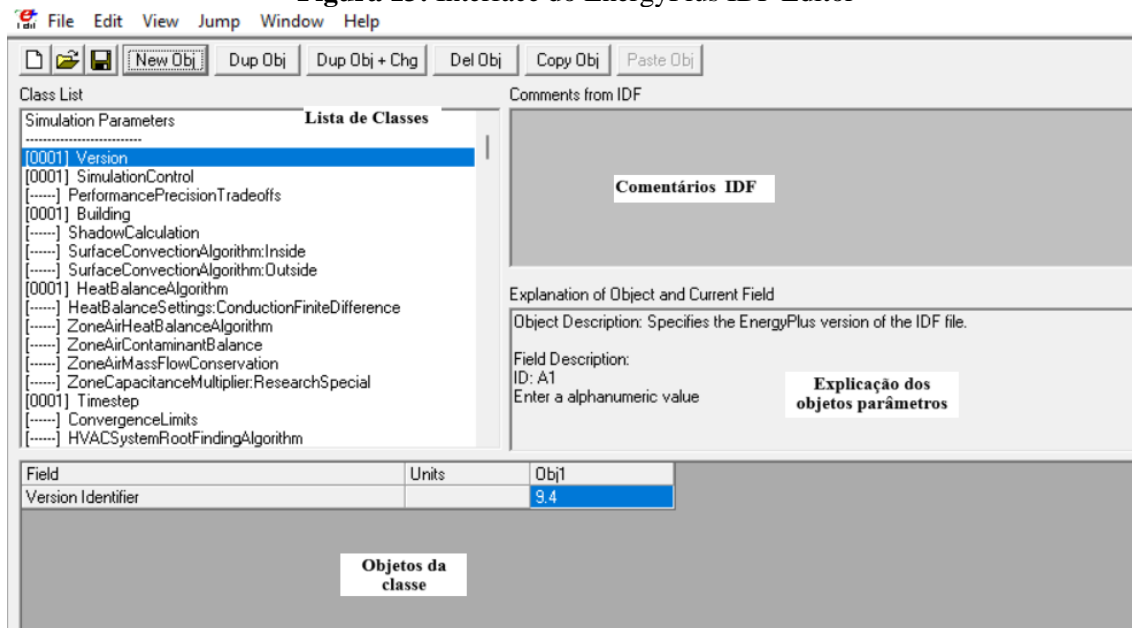


Fonte: Autor (2024)

Na interface do Editor do arquivo IDF (Figura 13), os principais parâmetros são configurados dentro das chamadas classes, a saber:

- *Building* – está relacionada com a orientação da edificação;
- *RunPeriod* – dia em que a simulação será realizada;
- *Material* – especificação das propriedades dos materiais;
- *Construction* – onde foram definidas as composições das paredes;
- *HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem* – definição do sistema de condicionamento de ar e sua operação;
- *Output:Variable* – quais variáveis serão extraídas do resultado das simulações.
- *BuildingSurface:Detailed* – detalhes da superfície a ser modelada no plugin;
- *FenestrationSurface:Detailed* – detalhe das aberturas a serem modeladas no plugin.
- *ZoneVentilation:DesignFlowRate* – especificação da área de ventilação;
- *ZoneVentilation:WindandStackOpenArea* – especificação da área de ventilação.

A cada classe foram inseridas suas características e propriedades, que podem ser visualizadas nas Figuras de 19 a 33 do Apêndice A.

Figura 13: Interface do EnergyPlus IDF Editor

Fonte: Autor (2024)

Uma vez que a análise do desempenho térmico será baseada na parede frontal às condições climáticas locais, configurou-se para que as trocas de calor com o ambiente externo fossem somente em uma das quatro paredes do ambiente, sendo as demais consideradas adiabáticas, que não há troca de energia com o meio. O material usado para as demais paredes foi o EPS (Poliestireno expandido) por ser um material desprovido de inércia térmica, ou seja, o material não absorve calor do ar interno, conforme visto no trabalho de Dias (2016). O termostato foi definido em 20°C para aquecimento e 25°C para resfriamento.

Outro parâmetro adotado e configurado no software, e já mencionado anteriormente, é a absorvância das superfícies expostas à radiação solar, sendo essas de cores claras, no valor de $\alpha = 0,3$, que foi informado no *BuildingSurface: Detailed*. O arquivo do modelo (.idf) vem incorporado com as informações da orientação da radiação solar na direção Oeste, bem como com os parâmetros de dimensões dos vãos de abertura, taxa de ventilação e sombreamento apresentados pela Tabela 9.

Tabela 9: Parâmetros utilizados para a realização das simulações

Abertura	Taxa de ventilação	Sombreamento
0%		
10%		
12,50%	1 ren/h	0%
15%	5 ren/h	50%
16,70%		

Fonte: Autor (2024)

3.3 ANÁLISE COMPARATIVA

A análise dos resultados tem como objetivo identificar a influência das dimensões das aberturas das janelas no desempenho térmico das paredes e compreender a resposta térmica a partir das variações de parâmetros diante das condições climáticas do município.

Realizou-se a comparação do desempenho térmico com a variação das aberturas das janelas, analisando a carga térmica de resfriamento (CgTR) como resposta térmica, para entender a influência das dimensões das aberturas das janelas no desempenho térmico do ambiente. Uma segunda análise foi a comparação dos valores de carga térmica de resfriamento (CgTR) para as orientações Oeste e Norte e discutir a influência da orientação solar no ganho térmico do ambiente.

E, por fim, a análise sobre a temperatura de superfície da abertura de janela com 16,7%, em que analisou a relação da carga térmica de resfriamento com a temperatura média do ar na zona, para as orientações Oeste e Norte.

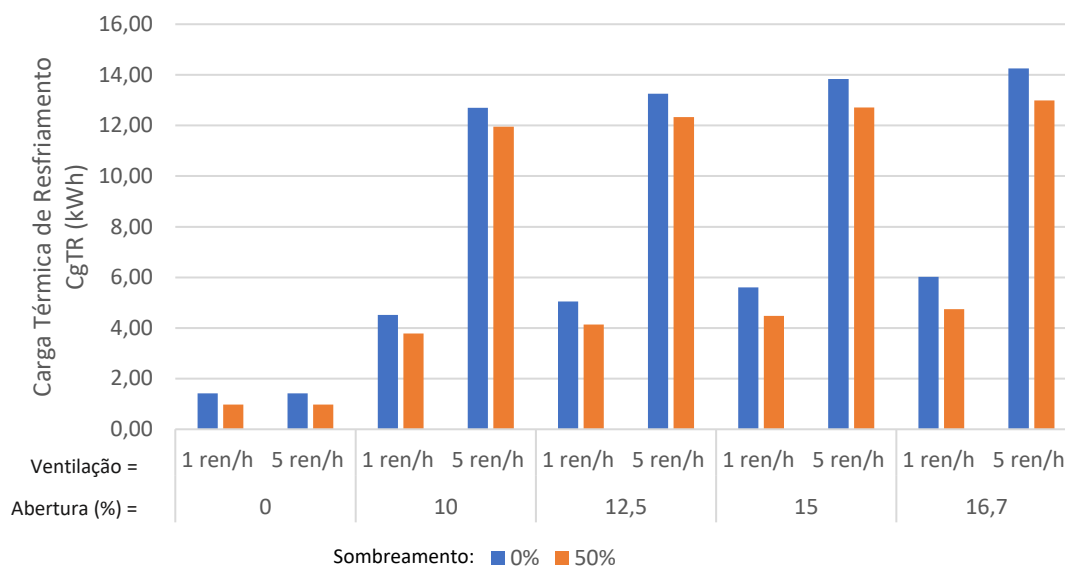
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta uma análise detalhada dos dados obtidos através das simulações computacionais, que tiveram a carga térmica de resfriamento como variável de saída. Os resultados fornecerão uma visão sobre o impacto das variáveis estudadas, como tamanho das aberturas, sombreamento e ventilação, no desempenho térmico de edificações, considerando que o material da envoltória, a orientação solar e absorvância foram parâmetros fixos.

4.1 ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES PARA AS VARIAÇÕES DE ABERTURAS

No presente tópico são discutidos os resultados das simulações dos diferentes tipos de aberturas, em que a Figura 14 apresenta as variações dos valores de carga térmica de resfriamento (C_{gTR}) para diferentes simulações com variação de área de abertura das janelas, inserção ou ausência de sombreamento (0 ou 50%) e duas taxas de renovação de ar (1 ren/h e 5 ren/h) para a orientação Oeste. Observou-se que a carga térmica de aquecimento (C_{gTA}) foi nula em todas as condições testadas.

A abertura das janelas influencia a quantidade de calor que entra ou sai do ambiente. Quanto maior a abertura, maior a ventilação, mas também há mais exposição à radiação solar direta. As colunas indicam simulações com e sem sombreamento (0% e 50%), sendo o sombreamento um fator importante para controlar a carga térmica, bloqueando a radiação direta do sol. A taxa de renovação de ar indica a quantidade de vezes que o ar é renovado no ambiente por hora. Em teoria, maior ventilação (5 ren/h) permite um resfriamento mais eficiente, enquanto menor ventilação (1 ren/h) pode levar a maior acúmulo de calor no ambiente, mas tudo depende das condições climáticas do local estudado.

Figura 14: Valores de carga térmica de resfriamento (CgTR) para diferentes simulações

Fonte: Autor (2024)

Observa-se um aumento significativo na carga térmica de resfriamento (CgTR) quando são adicionadas aberturas para ventilação no ambiente, o que implica maior consumo de energia para manter o conforto térmico. Para vãos de abertura entre 10% a 16,7%, notou-se que quanto maior a abertura, maior a carga térmica de resfriamento, corroborando com o trabalho de Silva (2019), em que as simulações para o período de verão indicaram que quanto menor for a área da abertura, maiores as chances de se obter o desempenho mínimo da vedação vertical.

No entanto, as janelas são indispensáveis no ambiente, apesar de contribuírem significativamente para o ganho térmico, elas reduzem o gasto energético obrigatório com iluminação e ventilação artificial em um cômodo. Portanto, é essencial adotar estratégias que minimizem esse desconforto térmico, como o uso de sombreamento, uma das abordagens simuladas neste estudo, e pode ser notado que os valores de Carga Térmica de Resfriamento (CgTR) com sombreamento são inferiores àqueles sem o recurso arquitetônico.

Observa-se que, também, para os ambientes com a taxa de ventilação no ambiente de 5 ren/h é perceptível o aumento da CgTR, em relação ao modelo anterior com 1 ren/h, visto que para a zona bioclimática em questão, essa nova taxa de renovação de ar no ambiente permite que o ambiente se torne desconfortável termicamente, uma vez que a simulação foi feita para a condição em que a janela estaria aberta durante todo o dia. Sendo assim, contribuiu para o desconforto térmico, promovendo um aumento entre 137% a 181%, para o modelo sem sombreamento conforme visto na Tabela 10. Já no modelo com sombreamento, a variação de carga térmica é de 174% a 215% em relação à taxa de

ventilação de 1 ren/h. Vale ressaltar que um aumento igual a 100% indica que o dobro do valor da carga térmica, ou seja, os valores da tabela em questão mais que dobraram.

Tabela 10: Comparativo de variação de carga térmica de resfriamento para todas as aberturas

Abertura (%)	Variação de CgTR após ventilação de 5 ren/h	
	S/ somb.	C/ somb.
10	181%	215%
12,5	163%	199%
15	147%	184%
16,7	137%	174%

Fonte: Autor (2024)

Um outro ponto, avaliando a Figura 14, observa-se que para todas as variações de abertura e ventilação, a carga térmica de resfriamento é menor com sombreamento comparado ao modelo sem sombreamento. O sombreamento reduz significativamente a carga térmica, especialmente das maiores áreas de vãos de abertura, visto que a presença de um recurso arquitetônico interrompendo a passagem de radiação solar tende a reduzir os ganhos térmicos internos da edificação, conforme vistos nos trabalhos de Pagel et. al. (2022) e Ferreira (2022).

Ao avaliar comparativamente a variação de ventilação (Figura 14) e sem sombreamento, a carga térmica para 5 ren/h é consideravelmente maior do que para 1 ren/h em todas os vãos de aberturas, e no caso com sombreamento, a CgTR tornam-se ainda menores em relação ao modelo sem sombreamento. Considerando a zona bioclimática da cidade de Barreiras, a maior taxa de renovação de ar implica em maior troca de ar quente do exterior para o interior, visto que a temperatura interna tende a igualar com a temperatura externa, e isso explica que, também, a simulação considerou o fator mais crítico, a janela aberta durante todo o dia, e desconsiderando a temperatura operativa por horário. O resultado foi corroborado pelo trabalho de Matos (2007), em que o aumento de ventilação promoveu a piora das condições do ambiente durante o dia, e o autor concluiu que o aumento da área de ventilação contribui para que a temperatura interna se aproxime da externa.

Conclui-se, nesse tópico, que o sombreamento é uma medida eficaz para reduzir a carga térmica de resfriamento em edificações, principalmente em situações de alta taxa de renovação de ar e vãos com maiores aberturas. Quando promove a ventilação (1 ren/h para 5 ren/h), aumenta expressivamente a carga térmica de resfriamento, independente do

sombreamento. Por outro lado, a Carga Térmica de Resfriamento (CgTR) é amenizada quando é inserida uma estratégia para redução de calor no ambiente, como o sombreamento. Apesar do Código de Obras da cidade de Barreiras exigir uma abertura de janela de 1/6 da área do piso, percebe-se que, para a zona bioclimática em que está inserida, não se faz tão eficiente do ponto de vista termo-energético e necessita de outros recursos arquitetônicos para minimizar o efeito do ganho térmico nas edificações.

4.2 CARGA TÉRMICA X ORIENTAÇÃO SOLAR

A NBR 15575 (ABNT, 2021) recomenda pela análise da edificação na orientação solar seja a condição mais crítica, do ponto de vista térmico, sendo que para o verão, seja feita uma simulação da janela do ambiente voltada para o Oeste e outra parede exposta voltada para o Norte. Sendo assim, a Tabela 11 descreve a relação de carga térmica de resfriamento para simulações em diferentes orientações (Oeste e Norte) e com variação de abertura (%) das janelas, tanto com quanto sem sombreamento, além de diferentes taxas de renovação de ar (1 e 5 renovações por hora).

Tabela 11: Relação de carga térmica de resfriamento para simulações nas orientações Oeste e Norte

Abertura (%)	OESTE				NORTE			
	Sem sombreamento		Com sombreamento		Sem sombreamento		Com sombreamento	
	1 ren/h	5 ren/h	1 ren/h	5 ren/h	1 ren/h	5 ren/h	1 ren/h	5 ren/h
10	4,52	12,70	3,79	11,95	4,57	12,78	3,59	11,77
12,5	5,04	13,25	4,13	12,33	5,12	13,35	3,85	12,05
15	5,60	13,83	4,48	12,71	5,67	13,91	4,11	12,34
16,7	6,02	14,26	4,74	12,99	6,08	14,34	4,31	12,56

Fonte: Autor (2024)

A Tabela 11 compara as orientações Oeste e Norte, que têm diferenças significativas em relação à incidência solar. A fachada Oeste recebe mais radiação solar no período da tarde, enquanto a fachada Norte tem exposição mais uniforme ao longo do dia.

Na orientação Oeste, sem sombreamento, a carga térmica é maior para maiores aberturas (por exemplo, 6,02 para 16,7% de abertura com 1 ren/h). Com sombreamento, há uma redução significativa na carga térmica em todas as taxas de renovação de ar, principalmente para 1 ren/h, onde os valores são menores (por exemplo, 3,79 para 10% de abertura).

A orientação Norte apresenta, em geral, CgTR levemente menores em comparação com a Oeste. O sombreamento também reduz as cargas, mas as diferenças não são tão pronunciadas quanto no lado Oeste, pois o lado Norte recebe radiação solar mais uniforme e menos intensa. Para todas as aberturas e orientações, a carga térmica aumenta significativamente quando a taxa de renovação de ar é maior (5 ren/h), pois mais ar quente externo entra no ambiente. Isso é mais notável nos cenários sem sombreamento.

Os valores de carga térmica para resfriamento nessa orientação, com sombreamento, são levemente mais baixos que para a orientação Oeste, indicando que essa estratégia é mais eficaz na orientação Norte, possivelmente devido à menor exposição solar direta ao longo do dia.

Os resultados da Tabela 11 revelam que os valores obtidos da carga térmica de resfriamento (CgTR) são similares, se diferindo na casa decimal, com variação entre 1% a 4% a mais para a orientação Norte em comparação com a orientação Oeste. Lamberts, Dutra e Pereira (2014) afirmam que as edificações voltadas para o Oeste estão mais propensas a receberem maior incidência solar durante os períodos do dia com maiores temperaturas, logo resulta em uma maior carga térmica de resfriamento, nas zonas de clima quente. Por outro lado, edificações com orientação solar voltadas para o Norte recebem exposição solar ao longo de todo o dia, o que resulta em valores ligeiramente superiores de carga térmica de resfriamento, porém não muito diferente em relação à orientação Oeste.

Portanto, a orientação solar deverá ser considerada durante a fase de projeto arquitetônico, sendo que é possível otimizar o desempenho térmico da edificação, promovendo ambientes internos mais confortáveis e eficientes energeticamente, e seguir as recomendações das normas sobre as melhores estratégias para cada zona bioclimática do país, permite assegurar soluções mais eficientes e adaptadas ao clima local.

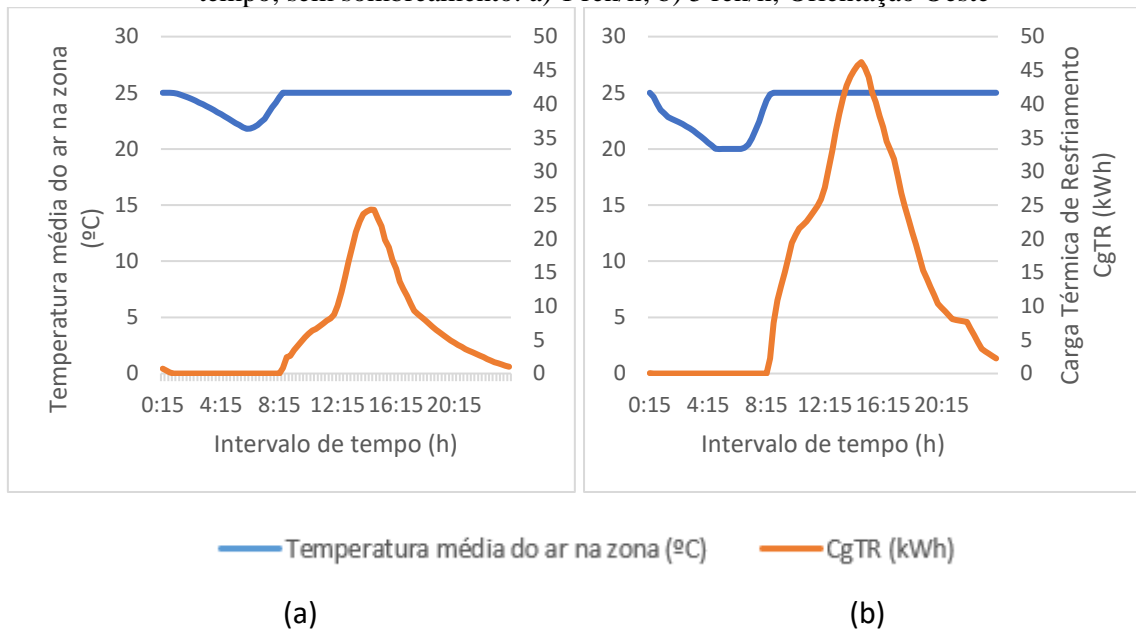
4.3 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA MÉDIA DO AR E CARGA TÉRMICA PARA ABERTURA DE 16,7% DA ÁREA DO PISO

Considerando os requisitos para construções no município de Barreiras (BA), foi avaliado a relação da temperatura média do ar na zona com a carga térmica de resfriamento para a condição da alvenaria com uma abertura de janela de 16,7% da área do piso nas orientações solares Oeste e Norte.

As Figuras 15 e 16 comparam a relação entre a temperatura média do ar na zona e a carga térmica de resfriamento, ao longo do tempo, para as duas taxas de renovação de ar e

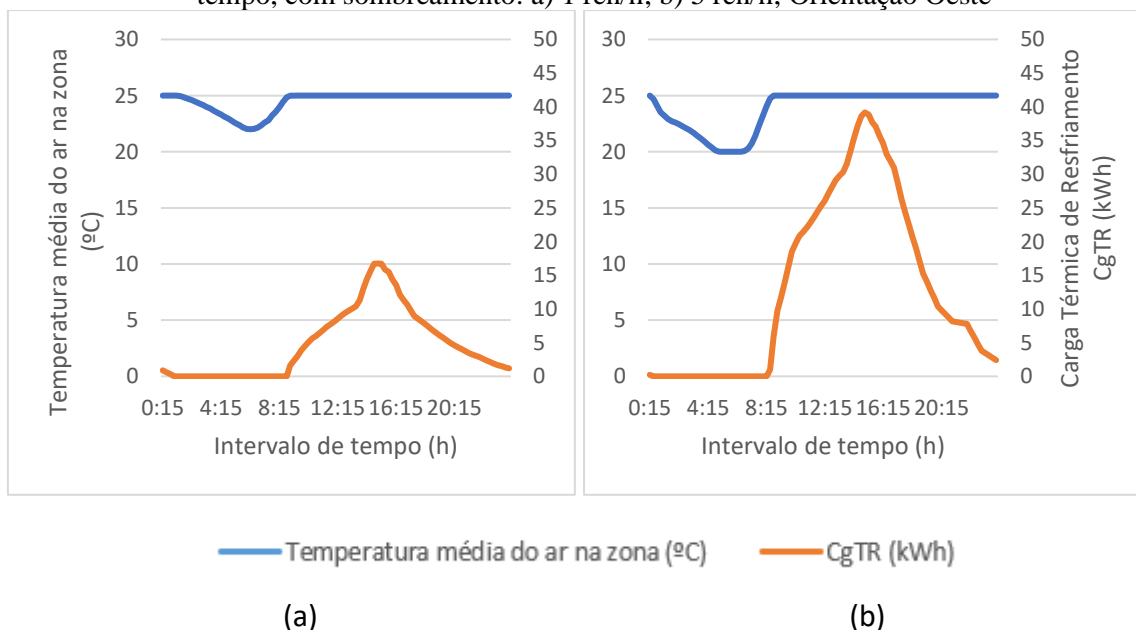
considerando as duas situações com e sem sombreamento. Ambos os gráficos se referem à orientação solar Oeste.

Figura 15: Relação entre temperatura média do ar na zona e carga térmica de resfriamento com o tempo, sem sombreamento: a) 1 ren/h; b) 5 ren/h; Orientação Oeste



Fonte: Autor (2024)

Figura 16: Relação entre temperatura média do ar na zona e carga térmica de resfriamento com o tempo, com sombreamento: a) 1 ren/h; b) 5 ren/h; Orientação Oeste



Fonte: Autor (2024)

Nota-se que a temperatura média do ar se mantém quase constante durante o dia, com uma leve queda no período da manhã e à noite. O sombreamento não causou mudanças significativas na temperatura média do ar nas duas taxas de renovação.

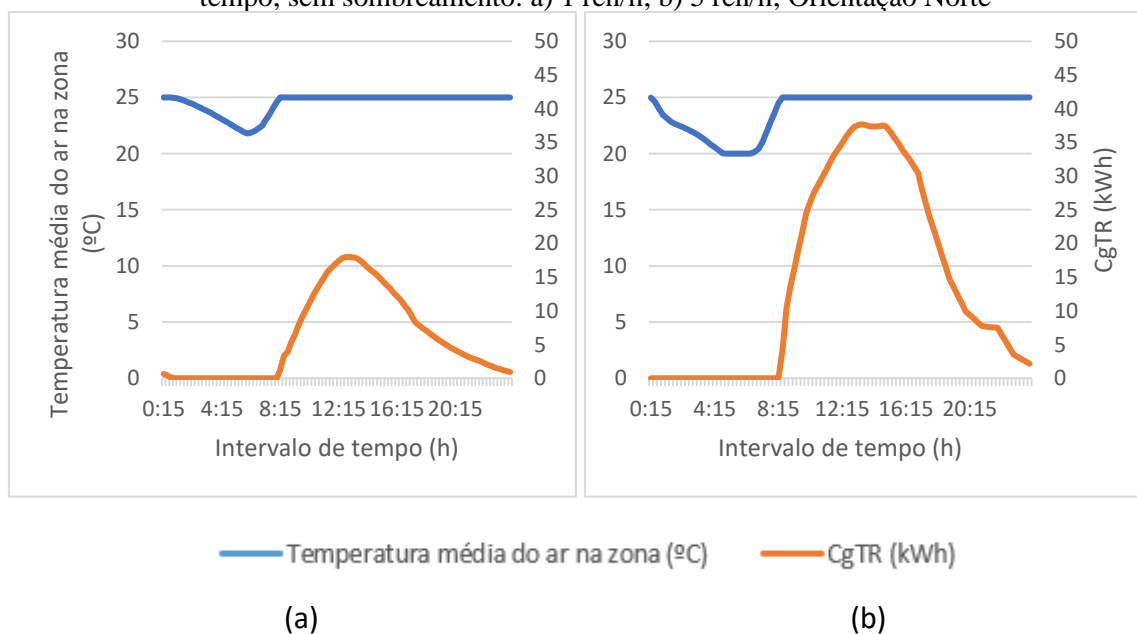
Observa-se que a temperatura média do ar na zona se mantém praticamente constante, entre 24°C e 25°C durante o dia, em ambas as taxas de renovação de ar (1 ren/h e 5 ren/h). Isso significa que a temperatura está muito próxima do limite superior do termostato para resfriamento, o que aciona o sistema de climatização para manter o ambiente dentro da faixa de conforto.

Quando a temperatura externa excede 25°C, o sistema de resfriamento entra em operação para evitar que a temperatura interna exceda o limite. Nos momentos em que a temperatura se aproxima de 20°C, o sistema de aquecimento poderia teoricamente ser acionado, mas, conforme os gráficos, isso não ocorre, uma vez que a temperatura interna não chega a cair abaixo de 24°C, permanecendo em uma faixa que não aciona o aquecimento.

Para a ventilação de 1 ren/h, Figuras 15-a e 16-a, a carga térmica de resfriamento é menor em comparação com 5 ren/h. Isso ocorre porque uma menor renovação de ar significa que menos ar quente externo está entrando no ambiente, reduzindo a necessidade de resfriamento. Mas nota-se na ventilação de 5 ren/h, Figuras 15-b e 16-b, que aumenta a carga térmica significativamente, pois uma maior quantidade de ar quente está sendo introduzida no ambiente, exigindo mais esforço do sistema de resfriamento para manter a temperatura abaixo de 25°C. Entretanto, com o sombreamento, essa carga é significativamente reduzida.

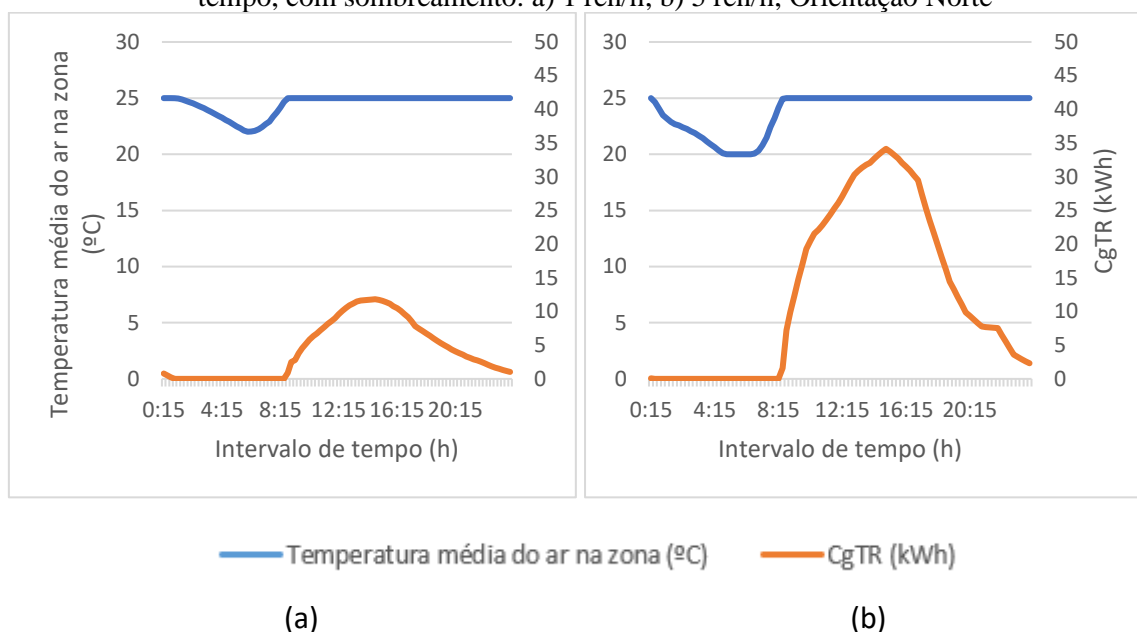
As Figuras 17 e 18 referem-se à relação da temperatura média do ar na zona e a carga térmica de resfriamento para a orientação Norte.

Figura 17: Relação entre temperatura média do ar na zona e carga térmica de resfriamento com o tempo, sem sombreamento: a) 1 ren/h; b) 5 ren/h; Orientação Norte



Fonte: Autor (2024)

Figura 18: Relação entre temperatura média do ar na zona e carga térmica de resfriamento com o tempo, com sombreamento: a) 1 ren/h; b) 5 ren/h; Orientação Norte



Fonte: Autor (2024)

A temperatura média do ar apresenta um comportamento semelhante à da orientação Oeste, com variação mínima ao longo do dia. Ela também permanece próxima dos 24°C a 25°C, o que indica que a zona está operando dentro de limites aceitáveis de conforto, não excedendo os 25°C.

Na Figura 17-a, a carga térmica de resfriamento atinge um pico em torno de 20 kWh por volta das 12:15 h. Isso indica uma carga considerável, especialmente durante as horas de maior exposição solar. Observa-se na Figura 17-b que a carga térmica é significativamente maior, com um pico próximo de 45 kWh, demonstrando que, à medida que aumenta a renovação de ar, mais energia é necessária para manter a temperatura interna abaixo de 25°C. Isso se deve à maior quantidade de ar quente entrando no ambiente.

Na Figura 18, a carga térmica de resfriamento é menor em ambas as taxas de renovação de ar quando o sombreamento é implementado. Para 1 ren/h, o pico cai para cerca de 15 kWh, enquanto para 5 ren/h, o pico fica em torno de 30 kWh.

Comparando as Figuras 15 e 17, na orientação Norte, o pico da carga térmica de resfriamento também ocorre em torno das 12:15 h, mas os valores são ligeiramente menores que os da orientação Oeste, com o pico para 5 ren/h em torno de 40 kWh. Isso sugere que a orientação Norte pode ter um impacto um pouco menor na carga térmica de resfriamento, possivelmente devido a uma menor exposição direta ao sol nas horas críticas. Para a orientação Oeste, a carga térmica de resfriamento sem sombreamento atinge seu pico em

torno das 12:15 h, com valores mais elevados em 5 ren/h, chegando a aproximadamente 45 kWh.

Já as Figuras 16 e 18, o sombreamento reduz significativamente a carga térmica de resfriamento, especialmente para 5 ren/h, com o valor do pico reduzido para cerca de 30 kWh. A orientação Norte, com sombreamento, também apresenta uma redução na carga térmica de resfriamento, com um valor de pico para 5 ren/h em torno de 25 kWh, o que é ligeiramente menor que na orientação Oeste. Isso indica que o sombreamento é mais eficaz na orientação Norte, possivelmente devido à menor exposição solar direta ao longo do dia.

A orientação Oeste tende a exigir maior carga térmica de resfriamento, especialmente nas horas de maior insolação (por volta das 12:15 h), em comparação com a orientação Norte, que apresenta uma carga um pouco menor. O sombreamento tem um efeito significativo em ambas as orientações, reduzindo a carga térmica, com uma maior eficiência observada na orientação Norte. A taxa de renovação de ar tem um grande impacto na demanda de resfriamento, com 5 ren/h gerando uma carga muito maior do que 1 ren/h, especialmente sem sombreamento.

CONCLUSÃO

O estudo em questão utilizou de um protótipo de um cômodo, que representasse um ambiente de permanência prolongada para avaliar o desempenho térmico na cidade de Barreiras – BA. O modelo foi definido com geometria e materiais construtivos próximos aos usuais e baseados em estudos anteriores, para a cidade em questão, em que foi fixado valor de absorvância e orientação solar, variando tamanho de aberturas, sombreamento e ventilação, a fim de compreender o impacto dessas alterações nos valores de Carga Térmica de Resfriamento. Conclui-se que:

- Quanto maior a abertura, maior a Carga Térmica por Resfriamento (CgTR), visto pelo aumento da passagem de radiação solar e necessidade de equilíbrio da temperatura em 25°C;
- A presença de corrente de ar (5 ren/h) gerou o aumento da carga térmica de resfriamento, influenciando expressivamente no desconforto térmico do ambiente, visto que é necessário reduzir a temperatura interna, e que a presença ou ausência de recurso arquitetônico para o sombreamento não mostraram benefícios;
- O vão de abertura com 1/6 da área do piso do cômodo (ou 16,7%) resultou em baixa eficiência termo-energética para a zona bioclimática 7, sendo que é necessário a implantação de outras soluções para minimizar o ganho térmico em edificações construídas de acordo com Código de Obras do município de Barreiras;
- O sombreamento tem um impacto significativo na redução da carga térmica de resfriamento, especialmente em taxas de renovação de ar mais altas (5 ren/h), o que reduz a demanda energética e, conseqüentemente, os custos de climatização.
- A taxa de renovação de ar afeta diretamente na carga térmica, sendo que quanto maior a taxa de renovação, maior a necessidade de resfriamento para manter o ambiente confortável, especialmente em condições sem sombreamento.
- A orientação Oeste tende a exigir maior carga térmica de resfriamento, especialmente nas horas de maior insolação (por volta das 12:15 h), em comparação com a orientação Norte, que apresenta uma CgTR um pouco menor.
- O sombreamento tem um efeito significativo em ambas as orientações, reduzindo a carga térmica de resfriamento, com uma maior eficiência observada na orientação Norte.

RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados e conclusões obtidas no presente trabalho, são feitas recomendações para a continuidade da pesquisa:

- Analisar a influência da ventilação natural no modelo utilizado para as demais orientações solares;
- Simular a ventilação natural considerando as temperaturas operativas internas;
- Simular uma edificação completa a fim de se aproximar de um modelo real, considerando a existência de pessoas e equipamentos no ambiente;
- Analisar a influência nas cargas térmicas com outros modelos de paredes usuais no município.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ANSI/ASHRAE Standard 55-2010: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and AirConditioning Engineers, 2012.

AMARAL, D. de O. **Avaliação das metodologias de ventilação natural da normalização brasileira de desempenho térmico e eficiência energética de edificações habitacionais**. Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável. Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, 2017.

ARAÚJO, H. F. DE. **Desempenho térmico de paredes: uma análise de parâmetros térmicos, custos/m² e custo-benefício no município de Barreiras-BA**. Barreiras: Universidade Federal do Oeste da Bahia, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações Parte 1 – Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações Parte 2 – Componentes e elementos construtivos das edificações – Resistência e transmitância térmica – Métodos de cálculo**. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações Parte 3 – Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575: Edificações Residenciais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2021.

BARREIRAS. Lei Nº 648, de 10 de novembro de 2004. **Institui normas relativas à execução de obras e edificações no Município de Barreiras**. Barreiras, BA: Diário Oficial da União, 2004.

BARREIRAS. **Relatório Plano Diretor: Planejamento Participativo Barreiras 2030**. Barreiras, BA; Diário da União, 2019.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. Maceió: EDUFAL, 2006.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575**. Brasília, DF, 300f, 2013.

CARREGOSA, L. **Consumo de energia em 2023 chega ao maior nível médio dos últimos anos, com ondas de calor e aumento da atividade econômica**. G1. Brasília, 01 de fevereiro

de 2024. Disponível em: < <https://g1.globo.com/economia/noticia/2024/02/01/consumo-de-energia-aumentou-37percent-em-2023-com-ondas-de-calor-e-aumento-da-atividade-economica.ghtml>>.

DIAS, A. E. **O desempenho térmico de uma cobertura verde em simulações computacionais em três cidades brasileiras**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

FERREIRA, C. C.; DE ASSIS, E. S.; MARQUES, C. L. O impacto do tamanho das aberturas no conforto de ambientes naturalmente ventilados. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 19, p. 1-15, 2022.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

JONES, B. M. et al. A review of ventilation opening area terminology. **Energy and Buildings**, v. 118, p. 249-258, 2016.

KOENIGSBERGER, O. H.; Ingersoll, T. G.; Mayhew, A.; Szokolay, S. V.; (1977). **Viviendas y edificios em zonas cálidas y tropicales**. Paraninfo S. A., Madrid, Espanha.

LAMBERTS, R. *et al.* **Desempenho térmico de edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações: Florianópolis, 7ed, 235p., 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3.ed. p. 1- 382, 2014.

LAMBERTS, R. et al. **Casa eficiente: bioclimatologia e desempenho térmico**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, v. 1, p. 123, 2010.

MATOS, M. **Simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis utilizando a ventilação natural**. Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2007.

NICO-RODRIGUES, E. A. et al. Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambientes ventilados naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 2, p. 7-23, 2015.

PAGEL, É. C. et al. Ventilação natural e desempenho térmico sob diferentes configurações de aberturas em uma sala de aula. **Ambiente Construído**, v. 22, p. 133-157, 2022.

RORIZ, M. **Arquivos climáticos de municípios brasileiros**. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Carlos, 2012.

SILVA, B. H. P. da. **Simulação do comportamento térmico de paredes para as condições climáticas do município de Barreiras, Bahia**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Oeste da Bahia, Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias: Barreiras, 2021.

SILVA, C. F. da. **A influência de aberturas na avaliação do desempenho térmico de vedações verticais externas em Florianópolis – SC.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina: Florianópolis, 2019.

SILVA, L. M. da. **Análise do desempenho térmico em coberturas a partir de simulação computacional no município de Barreiras-BA.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Oeste da Bahia, Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias: Barreiras, 2022.

TSIKALOUDAKI, K. et al. Assessing cooling energy performance of windows for residential buildings in the Mediterranean zone. **Energy Conversion and Management**, v. 64, p. 335–343, 2012.

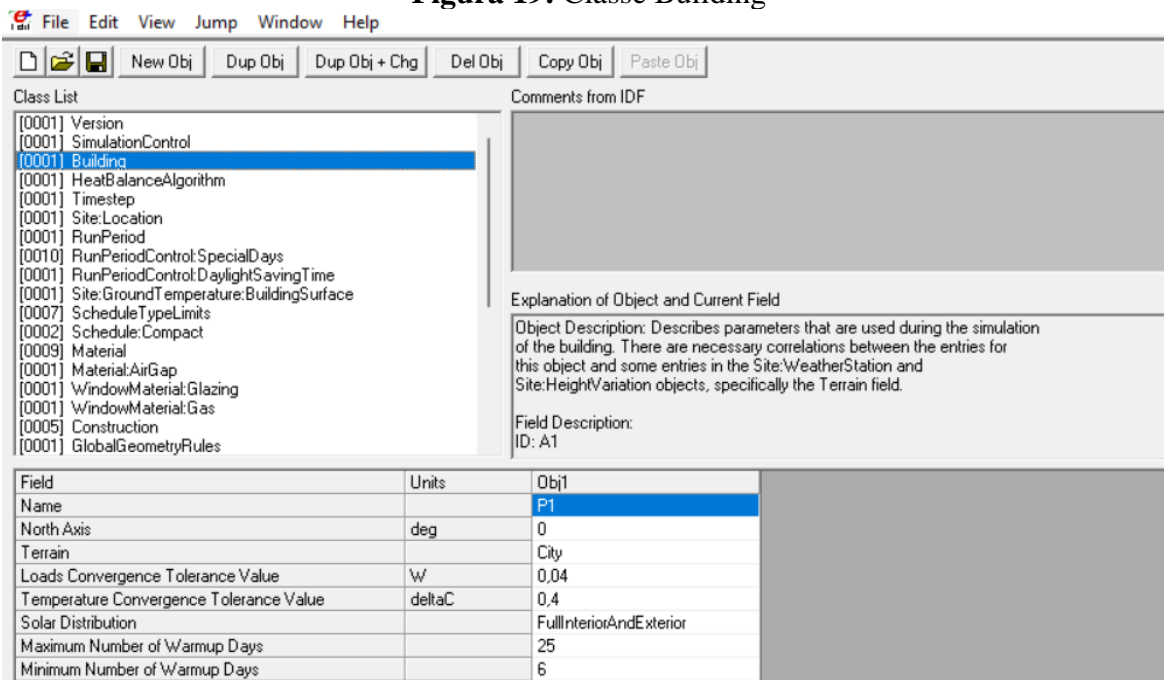
WATSON, D.; LABS, K. **Climatic Building Design: Energy-Efficient Buildings/Principles and Practice.** Ed. McGraw-Hill, Inc. New York, 1983.

WEBER, F. DA S. *et al.* **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus.** Florianópolis: LabEEE, 2017.

APÊNDICE A

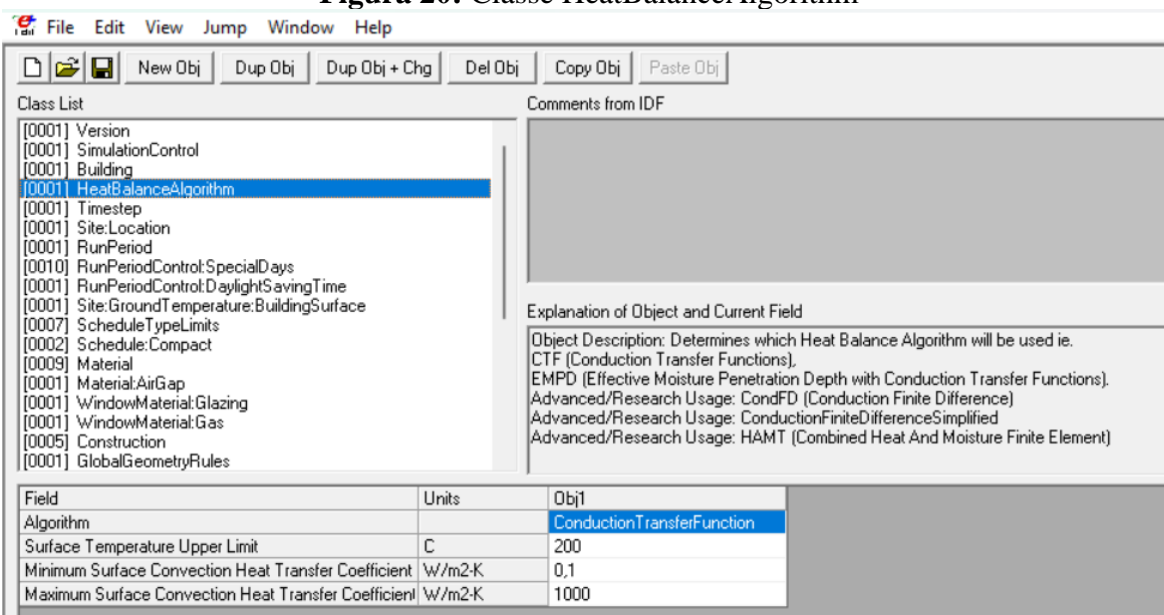
Principais classes utilizadas no software de simulação EnergyPlus

Figura 19: Classe Building



Fonte: Autor (2024)

Figura 20: Classe HeatBalanceAlgorithm



Fonte: Autor (2024)

Figura 21: Classe SiteLocation

File Edit View Jump Window Help

New Obj Dup Obj Dup Obj + Chg Del Obj Copy Obj Paste Obj

Class List

- [0001] Version
- [0001] SimulationControl
- [0001] Building
- [0001] HeatBalanceAlgorithm
- [0001] Timestep
- [0001] SiteLocation
- [0001] RunPeriod
- [0010] RunPeriodControl:SpecialDays
- [0001] RunPeriodControl:DaylightSavingTime
- [0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface
- [0007] ScheduleTypeLimits
- [0002] Schedule:Compact
- [0009] Material
- [0001] Material:AirGap
- [0001] WindowMaterial:Glazing
- [0001] WindowMaterial:Gas
- [0005] Construction
- [0001] GlobalGeometryRules

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Specifies the building's location. Only one location is allowed. Weather data file location, if it exists, will override this object.

Field Description:
ID: A1
Enter an alphanumeric value
This field is required.

Field	Units	Obj1
Name		Barreiras_BA_BRA Design_Conditions
Latitude	deg	-12,15
Longitude	deg	-44,99
Time Zone	hr	-3
Elevation	m	470

Fonte: Autor (2024)

Figura 22: Classe RunPeriod

File Edit View Jump Window Help

New Obj Dup Obj Dup Obj + Chg Del Obj Copy Obj Paste Obj

Class List

- [0001] Version
- [0001] SimulationControl
- [0001] Building
- [0001] HeatBalanceAlgorithm
- [0001] Timestep
- [0001] Site:Location
- [0001] RunPeriod
- [0010] RunPeriodControl:SpecialDays
- [0001] RunPeriodControl:DaylightSavingTime
- [0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface
- [0007] ScheduleTypeLimits
- [0002] Schedule:Compact
- [0009] Material
- [0001] Material:AirGap
- [0001] WindowMaterial:Glazing
- [0001] WindowMaterial:Gas
- [0005] Construction
- [0001] GlobalGeometryRules

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Specify a range of dates and other parameters for a simulation. Multiple run periods may be input, but they may not overlap.

Field Description: descriptive name (used in reporting mainly) Cannot be blank and must be unique
ID: A1
Enter an alphanumeric value
This field is required.

Field	Units	Obj1
Name		Periodo
Begin Month		9
Begin Day of Month		17
Begin Year		
End Month		9
End Day of Month		17
End Year		
Day of Week for Start Day		
Use Weather File Holidays and Special Days		No
Use Weather File Daylight Saving Period		No
Apply Weekend Holiday Rule		No
Use Weather File Rain Indicators		Yes
Use Weather File Snow Indicators		No
Treat Weather as Actual		No

Fonte: Autor (2024)

Figura 23: Classe Schedule Compact

Class List

- [0001] Version
- [0001] SimulationControl
- [0001] Building
- [0001] HeatBalanceAlgorithm
- [0001] Timestep
- [0001] Site:Location
- [0001] RunPeriod
- [0010] RunPeriodControl:SpecialDays
- [0001] RunPeriodControl:DaylightSavingTime
- [0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface
- [0007] ScheduleTypeLimits
- [0002] **Schedule: Compact**
- [0009] Material
- [0001] Material:AirGap
- [0001] WindowMaterial:Glazing
- [0001] WindowMaterial:Gas
- [0005] Construction
- [0001] GlobalGeometryRules

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Irregular object. Does not follow the usual definition for fields. Fields A3... are:
Through: Date
For: Applicable days (ref: Schedule:Week:Compact)
Interpolate: Average/Linear/No (ref: Schedule:Day:Interval) -- optional, if not used will be "No"
Until: <Time> (ref: Schedule:Day:Interval)
<numeric value>
words "Through", "For", "Interpolate", "Until" must be included.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Always On	Always Off
Schedule Type Limits Name		Fraction	Fraction
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 2	varies	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Until: 24:00	Until: 24:00
Field 4	varies	1	0
Field 5	varies		
Field 6	varies		
Field 7	varies		

Fonte: Autor (2024)

Figura 24: Classe Material:AirGap

Class List

- [0001] Version
- [0001] SimulationControl
- [0001] Building
- [0001] HeatBalanceAlgorithm
- [0001] Timestep
- [0001] Site:Location
- [0001] RunPeriod
- [0010] RunPeriodControl:SpecialDays
- [0001] RunPeriodControl:DaylightSavingTime
- [0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface
- [0007] ScheduleTypeLimits
- [0002] Schedule:Compact
- [0009] Material
- [0001] **Material:AirGap**
- [0001] WindowMaterial:Glazing
- [0001] WindowMaterial:Gas
- [0005] Construction
- [0001] GlobalGeometryRules

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Air Space in Opaque Construction

Field Description:
ID: A1
Enter a alphanumeric value
This field is required.

Field	Units	Obj1
Name		Camara de ar > 5cm
Thermal Resistance	m2-K/W	0,17

Fonte: Autor (2024)

Figura 25: Classe WindowMaterial:Glazing

File Edit View Jump Window Help

New Obj Dup Obj Dup Obj + Chg Del Obj Copy Obj Paste Obj

Class List

- [0001] Version
- [0001] SimulationControl
- [0001] Building
- [0001] HeatBalanceAlgorithm
- [0001] Timestep
- [0001] Site:Location
- [0001] RunPeriod
- [0010] RunPeriodControl:SpecialDays
- [0001] RunPeriodControl:DaylightSavingTime
- [0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface
- [0007] ScheduleTypeLimits
- [0002] Schedule:Compact
- [0009] Material
- [0001] Material:AirGap
- [0001] **WindowMaterial:Glazing**
- [0001] WindowMaterial:Gas
- [0005] Construction
- [0001] GlobalGeometryRules

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Glass material properties for Windows or Glass Doors Transmittance/Reflectance input method.

Field Description:
ID: A1
Enter a alphanumeric value
This field is required.

Field	Units	Obj1
Name		Clear 3mm
Optical Data Type		SpectralAverage
Window Glass Spectral Data Set Name		
Thickness	m	0,003
Solar Transmittance at Normal Incidence		0,837
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,075
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,075
Visible Transmittance at Normal Incidence		0,898
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,081
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,081
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		0,84
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		0,84
Conductivity	W/m-K	0,9
Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmittanc		
Solar Diffusing		
Young's modulus	Pa	
Poisson's ratio		
Window Glass Spectral and Incident Angle Transmittan		
Window Glass Spectral and Incident Angle Front Reflex		
Window Glass Spectral and Incident Angle Back Reflex		

Fonte: Autor (2024)

Figura 26: Classe Construction

The screenshot shows a software interface with a menu bar (File, Edit, View, Jump, Window, Help) and a toolbar with buttons for New Obj, Dup Obj, Dup Obj + Chg, Del Obj, Copy Obj, and Paste Obj. The main area is divided into three sections:

- Class List:** A list of classes including HeatBalanceAlgorithm, Timestep, Site:Location, RunPeriod, RunPeriodControl:SpecialDays, RunPeriodControl:DaylightSavingTime, Site:GroundTemperature:BuildingSurface, ScheduleTypeLimits, Schedule:Compact, Material, Material:AirGap, WindowMaterial:Glazing, WindowMaterial:Gas, **Construction** (highlighted), GlobalGeometryRules, Zone, BuildingSurface:Detailed, and FenestrationSurface:Detailed.
- Comments from IDF:** A large empty text area.
- Explanation of Object and Current Field:**
 - Object Description:** Start with outside layer and work your way to the inside layer. Up to 10 layers total, 8 for windows. Enter the material name for each layer.
 - Field Description:** ID: A1. Enter a alphanumeric value.

Below these sections is a table with 7 columns: Field, Units, Obj1, Obj2, Obj3, Obj4, and Obj5. The rows represent layers of a construction assembly:

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		Parede	Piso	Cobertura	Parede adiabatica	Janela
Outside Layer		Argamassa	Poliestireno exp	Poliestireno exp	Poliestireno exp	Clear 3mm
Layer 2		Bloco ceramico				
Layer 3		Camara de ar > 5cm				
Layer 4		Bloco ceramico				
Layer 5		Argamassa				
Layer 6						
Layer 7						
Layer 8						
Layer 9						
Layer 10						

Fonte: Autor (2024)

Figura 27: Classe BuildingSurface:Detailed

The screenshot shows a software interface with a menu bar (File, Edit, View, Jump, Window, Help) and a toolbar with buttons for New Obj, Dup Obj, Dup Obj + Chg, Del Obj, Copy Obj, and Paste Obj. The main area is divided into three sections:

- Class List:** A list of classes including Site:GroundTemperature:BuildingSurface, ScheduleTypeLimits, Schedule:Compact, Material, Material:AirGap, WindowMaterial:Glazing, WindowMaterial:Gas, Construction, GlobalGeometryRules, Zone, **BuildingSurface:Detailed** (highlighted), FenestrationSurface:Detailed, Shading Building Detailed, ZoneVentilation:DesignFlowRate, ZoneVentilation:WindandStackOpenArea, HVACTemplate:Thermostat, HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem, and Output:VariableDictionary.
- Comments from IDF:** A large empty text area.
- Explanation of Object and Current Field:**
 - Object Description:** Allows for detailed entry of building heat transfer surfaces. Does not include subsurfaces such as windows or doors.
 - Field Description:** ID: A1. Enter a alphanumeric value. This field is required.

Below these sections is a table with 8 columns: Field, Units, Obj1, Obj2, Obj3, Obj4, Obj5, and Obj6. The rows represent various properties of a building surface:

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Piso	ParedeSul	ParedeOeste	ParedeNorte	ParedeLeste	Cobertura
Surface Type		Floor	Wall	Wall	Wall	Wall	Roof
Construction Name		Piso	Parede adiabatica	Parede	Parede adiabatica	Parede adiabatica	Cobertura
Zone Name		Zona5s50	Zona5s50	Zona5s50	Zona5s50	Zona5s50	Zona5s50
Outside Boundary Condition		Ground	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors
Outside Boundary Condition Object							
Sun Exposure		NoSun	SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed
Wind Exposure		NoWind	WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed
View Factor to Ground		0					
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	4,426016304997	0,426016304997	0,426016304997	4,426016304997	4,426016304997	0,426016304997
Vertex 1 Y-coordinate	m	4,861636685659	0,861636685659	4,861636685659	4,861636685659	0,861636685659	4,861636685659
Vertex 1 Z-coordinate	m	0	3	3	3	3	3
Vertex 2 X-coordinate	m	4,426016304997	0,426016304997	0,426016304997	4,426016304997	4,426016304997	0,426016304997
Vertex 2 Y-coordinate	m	0,861636685659	0,861636685659	4,861636685659	4,861636685659	0,861636685659	0,861636685659
Vertex 2 Z-coordinate	m	0	0	0	0	0	3
Vertex 3 X-coordinate	m	0,426016304997	4,426016304997	0,426016304997	0,426016304997	4,426016304997	4,426016304997
Vertex 3 Y-coordinate	m	0,861636685659	0,861636685659	0,861636685659	4,861636685659	4,861636685659	0,861636685659
Vertex 3 Z-coordinate	m	0	0	0	0	0	3
Vertex 4 X-coordinate	m	0,426016304997	4,426016304997	0,426016304997	0,426016304997	4,426016304997	4,426016304997
Vertex 4 Y-coordinate	m	4,861636685659	0,861636685659	0,861636685659	4,861636685659	4,861636685659	4,861636685659
Vertex 4 Z-coordinate	m	0	3	3	3	3	3
Vertex 5 X-coordinate	m						

Fonte: Autor (2024)

Figura 28: Classe FenestrationSurface:Detailed

Class List

- [0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface
- [0007] ScheduleTypeLimits
- [0002] Schedule:Compact
- [0009] Material
- [0001] Material:AirGap
- [0001] WindowMaterial:Glazing
- [0001] WindowMaterial:Gas
- [0005] Construction
- [0001] GlobalGeometryRules
- [0001] Zone
- [0006] BuildingSurface:Detailed
- [0001] FenestrationSurface:Detailed
- [0001] Shading:Building:Detailed
- [0001] ZoneVentilation:DesignFlowRate
- [0001] ZoneVentilation:WindandStackOpenArea
- [0001] HVACTemplate:Thermostat
- [0001] HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem
- [0001] Output:VariableDictionary

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Allows for detailed entry of subsurfaces (windows, doors, glass doors, tubular daylighting devices).

Field Description:
ID: A1
Enter a alphanumeric value
This field is required.

Field	Units	Obj1
Name		Janela160x100
Surface Type		Window
Construction Name		Janela
Building Surface Name		ParedeOeste
Outside Boundary Condition Object		
View Factor to Ground		
Frame and Divider Name		
Multiplier		
Number of Vertices		4
Vertex 1 X-coordinate	m	0,426016304997
Vertex 1 Y-coordinate	m	3,661636685659
Vertex 1 Z-coordinate	m	2,1
Vertex 2 X-coordinate	m	0,426016304997
Vertex 2 Y-coordinate	m	3,661636685659
Vertex 2 Z-coordinate	m	1,1
Vertex 3 X-coordinate	m	0,426016304997
Vertex 3 Y-coordinate	m	2,061636685659
Vertex 3 Z-coordinate	m	1,1
Vertex 4 X-coordinate	m	0,426016304997
Vertex 4 Y-coordinate	m	2,061636685659
Vertex 4 Z-coordinate	m	2,1

Fonte: Autor (2024)

Figura 29: Classe ZoneVentilation:DesingFlowRate

The screenshot displays the configuration window for the 'ZoneVentilation:DesingFlowRate' class. The interface is organized into several sections:

- Menu Bar:** File, Edit, View, Jump, Window, Help.
- Toolbar:** New Obj, Dup Obj, Dup Obj + Chg, Del Obj, Copy Obj, Paste Obj.
- Class List:** A list of classes with the following entries:
 - [0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface
 - [0007] ScheduleTypeLimits
 - [0002] Schedule:Compact
 - [0009] Material
 - [0001] Material:AirGap
 - [0001] WindowMaterial:Glazing
 - [0001] WindowMaterial:Gas
 - [0005] Construction
 - [0001] GlobalGeometryRules
 - [0001] Zone
 - [0006] BuildingSurface:Detailed
 - [0001] FenestrationSurface:Detailed
 - [0001] Shading:Building:Detailed
 - [0001] **ZoneVentilation:DesingFlowRate** (highlighted)
 - [0001] ZoneVentilation:WindandStackOpenArea
 - [0001] HVACTemplate:Thermostat
 - [0001] HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem
 - [0001] Output:VariableDictionary
- Comments from IDF:**
 - Explanation of Object and Current Field:**

Object Description: Ventilation is specified as $Ventilation = V_{design} * F_{schedule} * (A + B) * (T_z - T_{out})$.
 If you use a ZoneList in the Zone or ZoneList to all the zones in the ZoneList.
 - Field Description:**

ID: A1
- Field Configuration Table:**

Field	Units	Obj1
Name		Deste_Janela10
Zone or ZoneList Name		Zona5s50
Schedule Name		Always On
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s	
Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2	
Flow Rate per Person	m3/s-person	
Air Changes per Hour	1/hr	5
Ventilation Type		Natural
Fan Pressure Rise	Pa	
Fan Total Efficiency		1
Constant Term Coefficient		1

Fonte: Autor (2024)

Figura 30: Classe ZonaVentilation:WindandStackOpenArea

The screenshot shows the Revit software interface with the 'ZoneVentilation:WindandStackOpenArea' class selected in the Class List. The 'Field' table below shows the object's properties:

Field	Units	Obj1
Name		Oeste_Janela10
Zone Name		Zona5s50
Opening Area	m2	1,6
Opening Area Fraction Schedule Name		Always On
Opening Effectiveness	dimensionless	autocalculate
Effective Angle	deg	180
Height Difference	m	
Discharge Coefficient for Opening		autocalculate
Minimum Indoor Temperature	C	23
Minimum Indoor Temperature Schedule Name		
Maximum Indoor Temperature	C	25
Maximum Indoor Temperature Schedule Name		
Delta Temperature	deltaC	5
Delta Temperature Schedule Name		
Minimum Outdoor Temperature	C	15
Minimum Outdoor Temperature Schedule Name		
Maximum Outdoor Temperature	C	25
Maximum Outdoor Temperature Schedule Name		
Maximum Wind Speed	m/s	10

The 'Explanation of Object and Current Field' section contains the following text:

Object Description: This object is specified as natural ventilation driven by wind and stack effect only:

$$\text{Ventilation Wind} = C_w * \text{Opening Area} * \text{Schedule} * \text{WindSpd}$$

$$\text{Ventilation Stack} = C_d * \text{Opening Area} * \text{Schedule} * \text{SQRT}(2 * g * D H * ((T_{\text{zone}} - T_{\text{odb}}) / T_{\text{zone}}))$$

$$\text{Total Ventilation} = \text{SQRT}((\text{Ventilation Wind})^2 + (\text{Ventilation Stack})^2)$$

Field Description:
 ID: A1

Fonte: Autor (2024)

Figura 31: Classe HVACTemplate:Thermostat

The screenshot shows the Revit software interface with the 'HVACTemplate:Thermostat' class selected in the Class List. The 'Field' table below shows the object's properties:

Field	Units	Obj1
Name		Constant Setpoint Thermostat
Heating Setpoint Schedule Name		
Constant Heating Setpoint	C	20
Cooling Setpoint Schedule Name		
Constant Cooling Setpoint	C	25

The 'Explanation of Object and Current Field' section contains the following text:

Object Description: Zone thermostat control. Referenced schedules must be defined elsewhere in the idf. Thermostat control type is dual setpoint with deadband. It is not necessary to create a thermostat object for every zone, only for each unique set of setpoint schedules. For example, an office building may have two thermostat objects, one for "Office" and one for "Storage".

Fonte: Autor (2024)

Figura 32: Classe HVACTemplate:ZoneIdealLoadAirSystem

The screenshot shows the software interface for the class HVACTemplate:ZoneIdealLoadAirSystem. The interface includes a menu bar (File, Edit, View, Jump, Window, Help), a toolbar with buttons for New Obj, Dup Obj, Dup Obj + Chg, Del Obj, Copy Obj, and Paste Obj, and a Class List on the left. The Class List contains various object types, with HVACTemplate:ZoneIdealLoadAirSystem selected. The right pane shows the Explanation of Object and Current Field, including the Object Description and Field Description. Below the panes is a table of fields.

Field	Units	Obj1
Zone Name		Zona5e50
Template Thermostat Name		Constant Setpoint Thermostat
System Availability Schedule Name		
Maximum Heating Supply Air Temperature	C	50
Minimum Cooling Supply Air Temperature	C	13
Maximum Heating Supply Air Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0,0156
Minimum Cooling Supply Air Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0,0077
Heating Limit		NoLimit
Maximum Heating Air Flow Rate	m3/s	
Maximum Sensible Heating Capacity	W	
Cooling Limit		NoLimit
Maximum Cooling Air Flow Rate	m3/s	
Maximum Total Cooling Capacity	W	
Heating Availability Schedule Name		
Cooling Availability Schedule Name		
Dehumidification Control Type		ConstantSensibleHeatRatio
Cooling Sensible Heat Ratio	dimensionless	0,7
Dehumidification Setpoint	percent	60
Humidification Control Type		None
Humidification Setpoint	percent	30
Outdoor Air Method		None
Outdoor Air Flow Rate per Person	m3/s	0,00944
Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2	
Outdoor Air Flow Rate per Zone	m3/s	

Fonte: Autor (2024)

Figura 33: Classe Output:Variable

The screenshot shows the software interface for the class Output:Variable. The interface includes a menu bar (File, Edit, View, Jump, Window, Help), a toolbar with buttons for New Obj, Dup Obj, Dup Obj + Chg, Del Obj, Copy Obj, and Paste Obj, and a Class List on the left. The Class List contains various object types, with Output:Variable selected. The right pane shows the Explanation of Object and Current Field, including the Object Description and Field Description. Below the panes is a table of fields.

Field	Units	Obj1	Obj2
Key Value		*	*
Variable Name		Zone Ideal Loads Zone Total Cooling Energy	Zone Ideal Loads Zone Total Heating Energy
Reporting Frequency		Timestep	Timestep
Schedule Name			

Fonte: Autor (2024)