# A PELE DOS EDIFÍCIOS COMERCIAIS: ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DOS SISTEMAS DE FACHADA E MATERIAIS DE REVESTIMENTO

**Liane B. G. Destefani (1); Edna A. Nico-Rodrigues (2)**
(1) Arquiteta e Urbanista, Mestre do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, lianedestefani@gmail.com
(2) Doutora, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo e do Programa de Pós-Graduação, edna.rodrigues@ufes.br
Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Tel.: (27) 4009 2581

## RESUMO
O desempenho térmico de edifícios comerciais que, em sua maioria, seguem um estilo internacional, com o uso abusivo de superfícies em vidro, tem sido criticado e verificado. Grandes cargas elétricas, solicitadas pela grande quantidade de equipamentos utilizados nos escritórios, criam condições de desconforto térmico nos ambientes, favorecendo o uso intensivo dos sistemas de climatização. A pesquisa verificou a influência dos sistemas de fachada e dos materiais de revestimento externo no conforto térmico no interior da edificação. Foram realizadas 22 simulações computacionais, com 11 tipos de fachadas em duas orientações, a partir de um edifício modelo com 17 pavimentos de escritórios, localizado no bairro Enseada do Suá, em Vitória, Espírito Santo, no sudeste do Brasil. As simulações foram realizadas utilizando o software EcoDesigner Star, um plug-in que funciona dentro do ambiente do software Archicad, desenvolvido pela Graphisoft, os modelos simulados incluíram os sistemas mais tradicionais de fachada, identificados em edifícios existentes na região, e outros sistemas ainda não utilizados no bairro, mas já difundidos no mercado nacional. Dentre os sistemas analisados, constatou-se o grande aumento no consumo de energia com climatização em edifícios que utilizam pele de vidro como vedação externa. Dentre os sistemas que utilizam janelas convencionais, o sistema de fachada ventilada obteve o melhor resultado, seguido pelo sistema que utiliza Light Steel Frame com painéis cimentícios.
Palavras-chave: Fachada, Revestimentos, Eficiência energética, Conforto térmico, Edifícios comerciais.

## ABSTRACT
The thermal performance of commercial buildings, wich mostly follow an international style, with the abusive use of glass surfaces, has been criticized and verified. Large electrical charges, requested by the large amount of equipment used in the offices, create conditions of thermal discomfort in spaces, favouring the intensive use of HVAC systems. The research verified the influence of façade system external cladding materials on the thermal comfort inside the building. 22 computer simulations were performed, using the software EcoDesigner Star, with 11 types of façades in two orientations, from a model building with 17 floors of offices, located in Enseada do Suá, Vitória, ES. The simulated models included the more traditional façade systems, identified in existing buildings in the area and other systems not yet used in the neighbourhood but already available in the national market. Among the systems analysed, there was a great increase in energy consumption with air conditioning in buildings that use glass façade. Among the systems that use conventional Windows, the ventilated façade system obtained the best result, followed by the system that uses Light Steel Frame with fiber cement panels.
Keywords: Façade, Cladding, Energy Efficiency, Thermal comfort, Commercial Buildings.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento tecnológico no decorrer dos séculos, novos materiais e sistemas surgem na construção de edifícios. Uma das principais modificações observadas foi a verticalização das estruturas, possibilitada pelo surgimento do elevador e das plataformas elevatórias. Nos centros urbanos, os terrenos disponíveis ficam gradativamente mais escassos e valorizados tornando a verticalização a saída mais usual. Antocheviz e Reis (2016) indicam que os edifícios altos são aqueles que possuem dez pavimentos ou mais e tornam-se fatores de concentração da população em áreas centrais ou de grande relevância na cidade.

Para a construção dos edifícios comerciais que se destacam em altura, as tecnologias construtivas e os materiais estruturais e de acabamento empregados são importados e compartilhados sem que se realize uma análise consistente das condições locais e da aplicabilidade de cada material. Nos países de clima tropical, as altas temperaturas nos meses de verão têm demandado a larga utilização de sistemas de climatização nos mais diversos ambientes. Andrade (2013) relata que a partir do século XX, começa a ser reconhecida a importância da saúde e do bem-estar do trabalhador para o desenvolvimento adequado do processo produtivo. Tal preocupação com o funcionário propicia o planejamento de ambientes mais confortáveis e amigáveis, visando eliminar as principais doenças decorrentes do estresse e fadiga no trabalho. O conforto no ambiente de trabalho também está relacionado às condições de temperatura interna. Além disso, a grande maioria dos equipamentos utilizados nos escritórios, mas principalmente os computadores, não funcionam corretamente em altas temperaturas, exigindo novamente uma climatização adequada.

Diante da preocupação crescente com a sustentabilidade, os projetos arquitetônicos buscam soluções aos desafios ambientais e tecnológicos, observando os seguintes aspectos: orientação solar e ventos, a geometria dos espaços e edifícios, as condicionantes ambientais, os materiais de estrutura e vedação, o tratamento das fachadas e coberturas, a proporção da área de aberturas e as proteções solares (GONÇALVES; DUARTE, 2006). As instituições e órgãos de regulação da sociedade passaram a exigir controles mais rígidos nas construções, por meio de leis e normas técnicas sobre eficiência energética, a fim de eliminar gastos elevados com energia, indicando a análise prévia do projeto arquitetônico e das especificações de materiais adequados para a obtenção do desempenho ambiental.

Segundo Santos et al. (2015), conhecer o comportamento térmico dos materiais que compõem a edificação permite aos projetistas estabelecerem estratégias para que as construções possam responder de maneira eficiente às variações climáticas, oferecendo conforto, minimizando o uso de equipamentos e o consumo de energia. Desta maneira, o desempenho dos edifícios depende não apenas do desempenho de elementos individuais, mas também em como eles se comportam como sistemas integrados. A fachada dos edifícios é particularmente importante. Especificamente, determina o quão hermético é o edifício, qual a quantidade de calor que é transmitido através de pontes termais e quanto a luz natural e a ventilação podem ser utilizadas, sendo grandes influenciadoras no consumo de energia. Reduzir a entrada de calor, através de materiais de revestimento e vidros mais eficientes e de recursos de sombreamento da fachada, é uma das formas de evitar a sobrecarga no uso de sistemas de condicionamento do ar. A crescente preocupação com as questões ambientais e a criação das normativas relacionadas à eficiência energética favorecem o desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao tema e, também, a criação de sistemas de fachadas cada vez mais inovadores. A diversidade de formas de construção que podem alterar o comportamento térmico das fachadas e o grande número de parâmetros envolvidos leva à necessidade de criação de modelos e simulações. Segundo Hensen e Lamberts (2011), a simulação computacional é uma ferramenta capaz de prever, avaliar e verificar o desempenho do edifício, gerando benefícios às edificações e ao meio ambiente por meio de uma análise aproxima da realidade.

## 2. OBJETIVO

Diante da problemática da eficiência energética nos edifícios, a pesquisa teve como objetivo analisar o desempenho térmico de sistemas de fachada, utilizando simulações computacionais, com diferentes materiais de revestimento em edifícios comerciais altos, climatizados artificialmente, em Vitória, ES.

## 3. MÉTODO

Os procedimentos adotados para alcançar o objetivo desta pesquisa foram divididos em quatro etapas:

1. Definição da área de estudo e caracterização climática;
2. Caracterização da tipologia de edifício comercial e sistemas de fachada;
3. Avaliação de desempenho térmico; e
4. Análise do custo de climatização da edificação.

### 3.1. Definição da área de estudo e caracterização climática

A pesquisa se desenvolveu na cidade de Vitória, localizada no litoral da região Sudeste (Figuras 1 e 2), no Estado do Espírito Santo (ES), com coordenadas 20° 16’ (20,26 UTM) de latitude e 40° 17’ (40,28 UTM) de longitude. Vitória é caracterizada por um clima tropical, com temperaturas não inferiores a 18ºC e médias de 24ºC. Vitória possui atualmente uma população estimada de cerca de 362 mil habitantes, segundo estimativas para 2019 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019). A pesquisa se desenvolveu no bairro Enseada do Suá por ter sido projetado como o novo centro empresarial da cidade.




Figura 1 – Localização do Estado do ES no Brasil e na Região Sudeste. (IJSN, 2019)

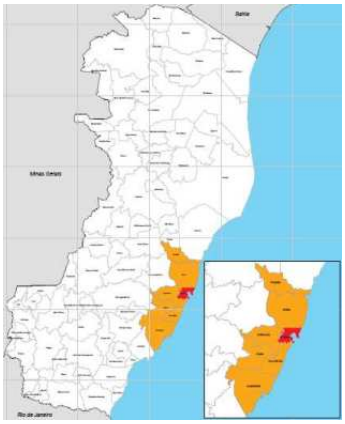

Figura: 2 – Localização do município de Vitória no ES e na Região Metropolitana da Grande Vitória.(PMV, 2011).

### 3.2. Caracterização da tipologia de edifício comercial e sistemas de fachada

O estudo analisou os sistemas de fachada de edifícios altos de escritórios, com mais de dez pavimentos. Para a definição da tipologia de edifício, fez-se necessário um levantamento de campo, desenvolvido para a anotação das características dos edifícios altos já existentes no bairro. Os sistemas de fachadas definidos para o estudo foram escolhidos dentre os sistemas existentes encontrados na região e, seguindo a tendência da construção à seco, a pesquisa analisou também alguns sistemas de fachada de maior tecnologia agregada e menor impacto durante a obra.

A partir do levantamento de dados realizado em campo dos edifícios altos comerciais existentes no bairro Enseada do Suá foi definido um modelo base de edifício a ser simulado, com planta na forma retangular, de 19 x 35 metros, circulação vertical central e circulação horizontal (corredor) que divide as salas comerciais, na direção da fachada principal e da fachada de fundos. Para as salas comerciais, utilizou-se o padrão de unidade comercial com cerca de 30 m² e dimensões aproximadas de 3,50 m x 8,50 m, internamente. O edifício modelo (Figuras 3 e 4) apresenta pavimento Térreo, um pavimento Garagem, 17 pavimentos-tipo de escritórios e pavimento cobertura. Possui altura total de 56 metros, com altura entre pavimentos de 2,88 metros e circulação vertical (escadas e elevadores) no centro do edifício. A fachada principal possui uma pele em vidro central de iluminação do hall de elevadores.

A base estrutural do edifício é em concreto moldado in loco, caracterizada por lajes com 20 cm de concreto, 5 cm de contrapiso e 2 cm de reboco na face inferior e pilares com dimensão de 30 x 60 cm e reboco de 2 cm em todas as suas faces. A vedação é em tijolos cerâmicos com espessura de 10 cm e argamassa de reboco de 2 cm em ambas as faces. As janelas são divididas entre 4 painéis, sendo 2 fixos e 2 móveis com abertura tipo *maxim-ar* e possuem área de 5,40 m² por sala, com esquadria em alumínio natural e vidro simples de 6 mm incolor. A pele de vidro central do edifício é estruturada como *Structural Glazing*, com perfis em alumínio natural e vidro simples incolor 6 mm. A cobertura do edifício é com telhas em fibrocimento. A partir da definição do modelo de base do edifício, foram definidos então, 11 modelos de sistemas de fachada (Tabela 1) a serem simulados a partir de uma base em comum.

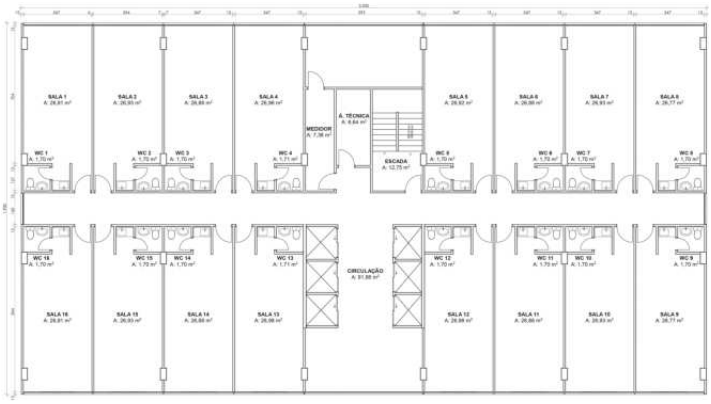

Figura 3 – Planta do Pavimento Tipo do edifício modelo.



Figura 4 – Fachada principal do edifício modelo.

Tabela 1 – Modelos simulados

| Modelo | Material |
|---|---|
| M01 | Alvenaria com reboco e pintura |
| M02 | Revestimento cerâmico sobre alvenaria |
| M03 | Revestimento em placas de rochas sobre alvenaria |
| M04 | Alumínio composto (ACM) sobre alvenaria |
| M05 | Light Steel Frame com painéis cimentícios e gesso acartonado |
| M05.2 | Light Steel Frame com painéis cimentícios, isolamento em lã de rocha e gesso acartonado |
| M06 | Pele de vidro com vidro comum incolor |
| M07 | Pele de vidro com vidro comum colorido |
| M08 | Pele de vidro com sistema unitizado e vidro duplo incolor |
| M09 | Pele de vidro com sistema unitizado e vidro duplo colorido |
| M10 | Fachada ventilada com porcelanato com a base em alvenaria |

## 3.3. Avaliação de desempenho térmico

A partir da definição dos sistemas de fachada e materiais a serem analisados nos edifícios comerciais altos e, não sendo possível a realização de ensaios e inspeções de campo e de protótipos, o método proposto para este estudo foi a simulação dinâmica computacional e avaliação do modelo energético virtual. As simulações foram realizadas no período de um ano e para a orientação da fachada principal a Oeste.

### *3.3.1. Escolha do software de simulação*

Esta pesquisa utilizou o software *EcoDesigner Star*, que funciona dentro do software *Archicad*, do fabricante *Graphisoft*, como motor de simulação energética. A análise do *EcoDesigner Star* está em conformidade com o Método de Teste da Norma ANSI/ASHRAE Standard 140-2007. O software converte todas as informações geradas em BIM para o BEM *(building energy model*), possibilitando que as modificações executadas no modelo 3D e em informações dos padrões construtivos do edifício sejam automaticamente transferidos para o modelo energético, possibilitando uma avaliação energética mais rápida e detalhada do edifício.

### *3.3.2. Características térmicas do edifício*

Na construção do modelo tridimensional, os diferentes sistemas de fachada tiveram os parâmetros de composição apresentados na Tabela 3 e as propriedades térmicas dos materiais estão contidos na Tabela 4.

Para a absortância dos materiais, foi fixado o valor de 30%, o que corresponde, segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), à utilização de cores claras, para todas as superfícies e materiais aplicados. O software *Ecodesigner Star* calcula automaticamente o valor da transmitância térmica (valor U) dos sistemas de fachadas nas suas diversas camadas a partir dos valores de densidade, condutividade térmica e calor específico associados a cada material de construção que compõe o sistema. Para as janelas foram utilizados os valores destacados na Tabela 2. Para os sistemas de fachada com materiais opacos foi utilizado o mesmo percentual de abertura (janelas) para as fachadas. A área envidraçada nos modelos corresponde a 35% das superfícies verticais. Para os sistemas de fachada que utilizam pele de vidro, o percentual de superfície envidraçada é de 100% das superfícies verticais.

A simulação da opção de sistema em fachada ventilada nesta pesquisa não ocorreu com a circulação do ar entre a vedação vertical mais interna e a segunda pele. O EcoDesigner Star considerou somente uma espessa camada de volume de ar isolante entre a vedação de base do edifício e o revestimento mais externo,

ignorando as movimentações desta camada de ar que podem intensificar a eliminação do calor adquirido pelo sistema através da radiação solar direta.

Tabela 2 – Propriedades térmicas das janelas do modelo (ASHRAE 140).

| | **Valor U (W/m².K)** | **TST (*Total Solar Transmission*)** | **DST (*Direct Solar Transmission*)** |
|---|---|---|---|
| Vidro simples incolor | 5,80 | 87% | 76% |
| Alumínio natural | 3,82 | | |
| Vidro simples colorido | 5,80 | 64% | 52% |
| Vidro duplo incolor | 2,80 | 82% | 69% |
| Vidro duplo colorido | 2,80 | 61% | 51% |

Tabela 3 – Camadas de composição dos sistemas de fachada avaliados.

| **Modelo** | **Tipo** | **Composição** | **Espessura** |
|---|---|---|---|
| M01 | Alvenaria com reboco e pintura | Reboco | 2cm |
| | | Tijolo cerâmico | 9 cm |
| | | Reboco | 2 cm |
| M02 | Revestimento cerâmico sobre alvenaria | Reboco | 2cm |
| | | Tijolo cerâmico | 9 cm |
| | | Reboco | 2 cm |
| | | Argamassa colante | 1 cm |
| | | Pastilha cerâmica | 1 cm |
| M03 | Revestimento em placas de rochas sobre alvenaria; | Reboco | 2cm |
| | | Tijolo cerâmico | 9 cm |
| | | Reboco | 2 cm |
| | | Espaçadores – Volume de ar | 5 cm |
| | | Placas de granito | 2 cm |
| M04 | Alumínio composto (ACM) sobre alvenaria | Reboco | 2cm |
| | | Tijolo cerâmico | 9 cm |
| | | Reboco | 2 cm |
| | | Substrutura em alumínio – Volume de ar | 5 cm |
| | | Placas de ACM | 4 mm |
| M05 e M05.2 | *Light Steel Frame* com painéis cimentícios e gesso acartonado | Placas em gesso acartonado | 12,5 mm |
| | | Light Steel Frame – Volume de ar – com ou sem lã de rocha | 9 cm |
| | | Painéis cimentícios | 10 mm |
| M06/ M07 | Pele de vidro comum | Vidro | 6 mm |
| M08 e M09 | Pele de vidro duplo | Vidro | 6 mm |
| | | Volume de ar | |
| | | Vidro | 6 mm |
| M10 | Fachada ventilada | Reboco | 2cm |
| | | Tijolo cerâmico | 9 cm |
| | | Reboco | 2 cm |
| | | Substrutura – Volume de ar | 20 cm |
| | | Placas cerâmicas | 1 cm |

Tabela 4 – Propriedades térmicas dos materiais dos sistemas de fachada (ABNT, 2005).

| **Material** | **Condutividade térmica (W/m.K)** | **Densidade de massa (kg/m³)** | **Calor Específico (J/kg.K)** |
|---|---|---|---|
| Tijolo cerâmico de 6 furos – dimensões 32 x 16 x 10 cm | 0,90 | 1600 | 920 |
| Argamassa (reboco) | 1,15 | 2000 | 1000 |
| Concreto | 1,75 | 2400 | 1000 |
| Vidro simples incolor | 1,00 | 2500 | 840 |
| Pastilha Cerâmica | 1,05 | 2000 | 920 |
| Argamassa colante | 1 | 2000 | 1000 |
| Placas de rochas (granito) | 3 | 2900 | 840 |
| Volume de ar não ventilado | 0,026 | 1,18 | 1004 |
| Alumínio | 230 | 2700 | 880 |
| Polietileno | 0,40 | 900 | 20 |
| Placas de fibrocimento | 0,95 | 2200 | 840 |
| Gesso acartonado | 0,35 | 1000 | 840 |
| Lã de rocha | 0,045 | 20 | 750 |

### *3.3.3 Perfil de ocupação e utilização do edifício*

Para o cálculo da população do edifício de escritórios, utilizou-se a mesma metodologia descrita para projetos de combate a incêndio e pânico, segundo a NBR 9.077 – Saídas de emergência em edifícios (ABNT, 2001), contabilizando uma pessoa a cada 7 m² de área, sendo então 4 pessoas por sala comercial. O funcionamento das salas comerciais considerou os seguintes períodos, de 9h00 às 12h00 e de 13h00 às 18h00 nos dias úteis (segunda a sexta-feira), totalizando 2.088 horas de ocupação dos escritórios por ano, sem o desconto de feriados.

O calor produzido pelo corpo humano também precisa ser considerado e depende da atividade que o indivíduo desenvolve. Para o ambiente de escritórios utilizaram-se os valores da atividade de digitação correspondente a 1,1 Met e 65 W/m². Considerou-se também uma carga de umidade de 600 ml de suor, aproximadamente 600 g por dia por pessoa. Se uma pessoa ocupa 7 m², 600g divididos por 7m² resulta em 85g/m². Para a iluminação das salas comerciais foram especificadas 4 luminárias de 32 W e 2 luminárias de 6 W, totalizando 140W de potência de iluminação por sala, resultando em 5,20 W/m². Para os banheiros, espaços técnicos e de circulação, não climatizados, não foram inseridos dados de ocupação, iluminação e utilização pois não fazem parte da análise proposta nesta pesquisa. Para a definição da carga térmica advinda de equipamentos, esta pesquisa considerou os dados da Tabela 5, de acordo com a indicação da NBR 16.401-1 (ABNT, 2008). A sala comercial com área de 26,90 m² teve uma carga de 982W de equipamentos, resultando em 36,50 W/m². No período em que o escritório não estiver funcionando, foram mantidos ligados o modem e o frigobar, totalizando 82 W ou 3,05 W/m². Não foram considerados sistemas de aquecimento de água pois a tipologia de edifícios comerciais não apresenta esta demanda de uso.

Tabela 5 – Equipamentos utilizados em salas comerciais e as potências correspondentes.

| Equipamento | Quantidade | Uso contínuo (W) |
|---|---|---|
| Computador | 4 | 55 |
| Monitor grande (20”) | 4 | 80 |
| Impressora laser | 1 | 160 |
| Modem de internet | 1 | 12 |
| TV (42”) | 1 | 200 |
| Frigobar | 1 | 70 |
| **TOTAL** | **12** | **982** |

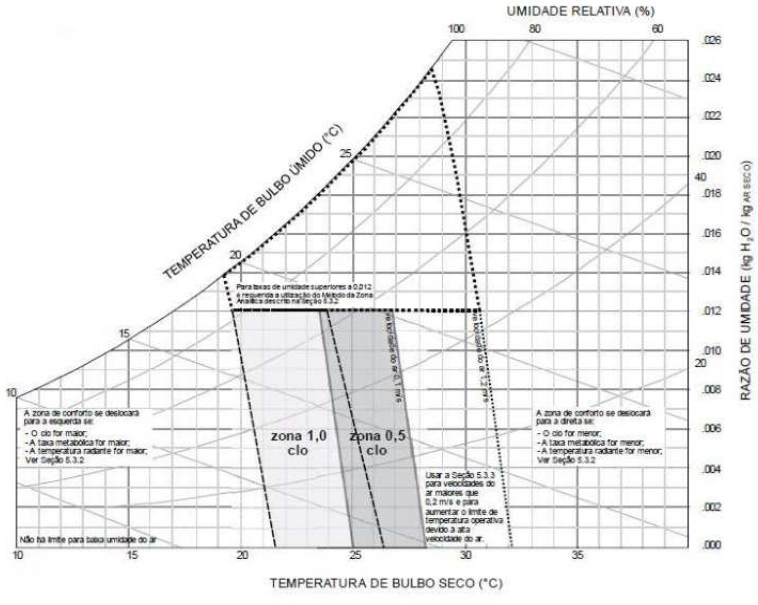


Figura 5 – Zona de conforto térmico gráfica com base no método analítico (ABNT, 2017).

Segundo a norma NBR 16.401 (ABNT, 2017), para ambientes em que os ocupantes têm uma atividade metabólica entre 1,0 e 1,3 met, com isolamento térmico da vestimenta entre 0,5 e 1,0 clo, como é o caso desta pesquisa, deve-se utilizar o método de definição da zona de conforto de acordo com o gráfico apresentado na Figura 5. Sendo assim, para as características de Vitória, com uma umidade relativa do ar variável entre 40 e 60% e isolamento de vestimenta 0,5 clo, pode-se considerar a temperatura operativa de conforto nos escritórios entre 24ºC e 27°C no verão. No inverno, com isolamento da vestimenta de 1,0 clo, a zona de conforto térmico está entre 20ºC e 24°C. Considerou-se que, em escritórios, a vestimenta típica seja uma calça e uma camisa de manga curta, derivando um valor igual a 0,57 clo. Para valores intermediários, entre 0,50 e 1,0 de vestimenta, como se apresenta o caso em questão, as zonas de conforto podem ser determinadas aplicando-se a interpolação entre as temperaturas operativas limite encontradas no gráfico da Figura 5. As equações para esta interpolação são as Equações 1 e 2. Sendo assim, com um isolamento de vestimenta de 0,57 clo e utilizando as fórmulas, a zona de conforto encontrada é entre 23,44°C e 26,5°C.

$$t_{min,Icl} = [(I_{cl} - 0{,}5clo) \times t_{min,1{,}0clo} + (1{,}0clo - I_{cl}) \times t_{min,0{,}5clo}] / 0{,}5clo \quad \text{Equação 1}$$

$$t_{max,Icl} = [(I_{cl} - 0{,}5clo) \times t_{max,1{,}0clo} + (1{,}0clo - I_{cl}) \times t_{max,0{,}5clo}] / 0{,}5clo \quad \text{Equação 2}$$

Onde:
$t_{max,Icl}$ é limite superior da temperatura operativa (to) para isolamento de vestimenta (Icl);
$t_{min,Icl}$ é o limite inferior da temperatura operativa (to) para isolamento de vestimenta (Icl);
$I_{cl}$ é o isolamento térmico da vestimenta em questão (clo).

Os dados climáticos da cidade de Vitória foram inseridos no software de simulação por meio do arquivo climático ES_Vitória.epw, baixado do sítio eletrônico "Arquivos climáticos INMET 2012", revisados em novembro de 2012 (LABEEE, s.d.). Para a relação do edifício com o entorno, foi configurado que o projeto está assentado sobre terreno com solo do tipo barro, com condutividade térmica igual a 0,5 W/mK, densidade de 1800 Kg/m³ e capacidade de calor de 1000 J/kgK. O entorno do edifício é de solo pavimentado, com refletância do solo de 30%. Quanto ao fator "Proteção do vento" foi configurada uma situação de desproteção do vento para todas as direções de incidência no edifício. Para configurar as condições de funcionamento do sistema de climatização nas salas comerciais, definiu-se a utilização do sistema de ar-condicionado do tipo Split. Para cada escritório atribuiu-se a capacidade de 24.000 BTU e definiu-se pela especificação de um aparelho de ar-condicionado por sala comercial com características da Tabela 6. Para os blocos térmicos relacionados às circulações (corredores), aos banheiros e às áreas técnicas, utilizou-se a ventilação natural. Esta definição de sistema de ventilação natural do software pressupõe a aplicação dos valores definidos na norma ASHRAE 90.1.

Tabela 6 – Especificações técnicas do Ar-Condicionado Split Inverter

| | |
|---|---|
| Modelo | Samsung Inverter Digital Quente Frio High Wall |
| Capacidade de resfriamento | 24.000 BTU |
| Potência | 2.510 W |
| Fator de Calor (COP) | 3,25 |
| Gás refrigerante | R410A |
| Limite de operação | 16ºC - 46ºC |
| Fluxo de ar ventilado auxiliar | 17,7 m³/min = 1,062 m³/h |

### 3.4. Análise do custo de climatização da edificação

Nesta pesquisa utilizou-se somente a energia elétrica proveniente da concessionária de energia, com custo verificado no boleto referente ao mês de dezembro de 2019 de R$ 0,52581 / kWh. Como dado de saída do programa também foi obtido o valor em reais gasto com energia para a climatização total do edifício no período de um ano. Certamente, a exigência de climatização nas 272 unidades individuais (salas comerciais) não é igual, visto as diferentes orientações. Porém, o objetivo da pesquisa se relaciona ao desempenho térmico do edifício como um conjunto único e interrelacionado.

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados e análises referentes ao desempenho térmico no edifício de uso comercial foram apresentados inicialmente por dados de consumo de energia para climatização, considerando o ar-condicionado configurado para manter a temperatura ambiente entre 23,44°C e 26,5°C, para a orientação da fachada Leste-Oeste, no período de um ano, para todas as variações de vedação de fachada. O modelo base de edifício definido foi simulado com 11 tipos de vedação vertical e acabamentos externos, apresentados no ponto 3.2 deste artigo, mantendo-se inalteradas as outras configurações. Os resultados obtidos nos relatórios do software foram resumidos na tabela 7.

Observa-se nos resultados que há necessidade de climatização em quase 100% das horas de ocupação dos escritórios. O total de horas de ocupação, na configuração feita nos modelos é de 2088 horas no ano. Todas as simulações, com exceção dos modelos M01 e M02, resultaram na totalidade das 2088 horas como horas de desconforto, indicando que a climatização é necessária, nestes ambientes, por todo o período em que o espaço é ocupado.

Tabela 7 – Resultados das simulações dos modelos com orientação Leste-Oeste.

| Modelo | Temp. Mínima (ºC) | Temp. Média (ºC) | Temp. Máxima (ºC) | Horas necessárias de climatização (h) | Consumo de energia anual com climatização (KWh/ano) | Custo anual com climatização (R$ /ano) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M01 | 21,02 | 31,82 | 44,20 | 2073 | 827.000 | 434.907 |
| M02 | 21,20 | 31,95 | 44,23 | 2076 | 826.000 | 434.387 |
| M03 | 23,64 | 34,23 | 46,63 | 2088 | 817.000 | 429.933 |
| M04 | 23,64 | 34,23 | 43,34 | 2088 | 818.000 | 430.160 |
| M05 | 22,53 | 33,87 | 47,08 | 2087 | 758.000 | 398.776 |
| M05.2 | 22,54 | 33,58 | 46,48 | 2087 | 826.000 | 434.489 |
| M06 | 22,05 | 34,77 | 49,57 | 2087 | 876.000 | 460.808 |
| M07 | 21,24 | 33,02 | 46,92 | 2085 | 880.000 | 463.011 |
| M08 | 25,15 | 39,09 | 55,50 | 2088 | 874.000 | 459.777 |
| M09 | 24,06 | 36,64 | 51,46 | 2088 | 874.000 | 459.917 |
| M10 | 23,41 | 34,27 | 47,10 | 2088 | 751.000 | 395.335 |

A grande carga elétrica empregada em equipamentos e iluminação nos interiores dos escritórios e a grande concentração humana faz com que os espaços de escritórios percebam elevada carga de calor interna o que, domando-se à carga térmica do ambiente externo, provoca temperaturas máximas bastante elevadas, principalmente nos meses de verão, de novembro a março (Figura 6). Recorda-se, porém, que esta pesquisa foi realizada considerando-se as salas comerciais fechadas hermeticamente e sem a utilização de ventilação natural, não sendo, portanto, analisada a mitigação do calor interno através da abertura das janelas e ventilação dos espaços.

Verifica-se que os sistemas de fachada tradicionais em alvenaria convencional com acabamento em pintura (M01) e revestimento cerâmico (M02) são os sistemas que apresentam as menores temperaturas internas, enquanto os sistemas com pele de vidro duplo (M08 e M09) obtêm as maiores temperaturas. Analisando os dados relativos ao gasto com energia dos modelos simulados, expressos na Figura 7, os resultados indicam, porém, que os modelos M01 e M02, que apresentaram as menores temperaturas internas, não são os modelos mais eficientes termicamente. Verifica-se que os sistemas de fachada tradicionais em alvenaria convencional com acabamento em pintura (M01) e revestimento cerâmico (M02), dentre os sistemas com 25% de abertura de fachada (janelas), foram os menos eficientes, consumindo até R$ 40.000,00 (quarenta mil reais) ao ano a mais do que o sistema mais eficiente. Deduz-se que o elevado valor de transmitância térmica (valor U) dos materiais que compõem estes sistemas de fachada permite grandes trocas de calor entre interior e exterior, possibilitando que o calor produzido internamente, nas salas comerciais, seja dissipado através dos materiais da fachada. Porém, a climatização produzida pelos aparelhos de ar-condicionado, demandados nas horas de desconforto e altas temperaturas, também é igualmente dissipada através da mesma fachada, ampliando a necessidade de sua reposição contínua, fazendo com que os equipamentos utilizem maior potência e, consequentemente, empreguem mais energia no processo.

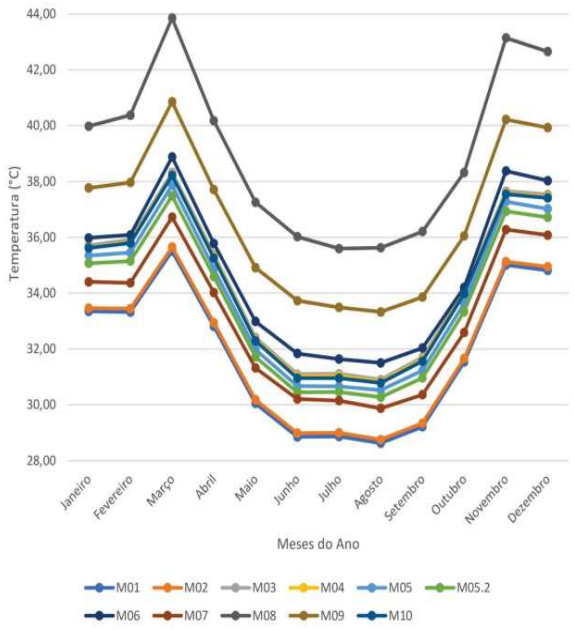


Figura 6 – Temperaturas médias dos modelos simulados na orientação Oeste

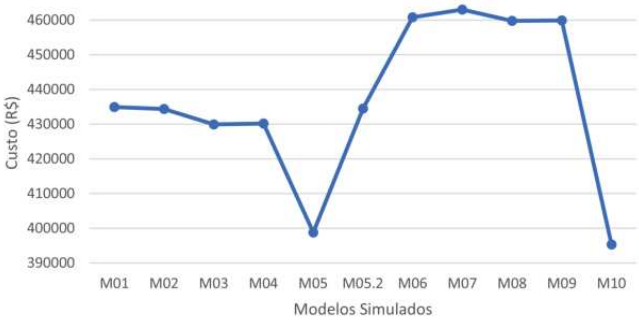


Figura 7 – Custo com energia elétrica para climatização nos modelos simulados na orientação Oeste

Outra análise importante é que, nas simulações M03 e M04, independente do material de acabamento externo (placa de rocha ou ACM), quando se utiliza uma separação entre o material de revestimento e a base da fachada (alvenaria) utilizando suportes metálicos com uma camada fina de ar, verifica-se uma redução no consumo de energia com climatização em até R$ 5.800,00 (cinco mil e oitocentos reais) ao ano em relação às simulações M01 e M02. A fina camada de ar se caracteriza como uma barreira isolante que impede a entrada de calor por parte da radiação direta do sol e da atmosfera, mas permite o aquecimento interno favorecido pelo elevado número de equipamentos e pessoas presentes nos ambientes.

Analisando a simulação do modelo M05, utilizando-se gesso acartonado e placa cimentícia, verifica-se que a retirada da alvenaria e sua substituição por uma camada de ar com estruturas em aço leve *(steel frame)* e pela placa em gesso acartonado, provocou também um aumento em cerca de 2°C em relação ao modelo com acabamento em pintura (M01) e ao revestimento cerâmico (M02). Porém, a redução no consumo de energia e no gasto com ar-condicionado é significativo, podendo chegar a R$ 36.000,00 (trinta e seis mil reais) ao ano. Neste caso, a camada isolante de ar tem sua espessura aumentada, passando de 5 cm para 9 cm. Além disso, a modificação dos materiais que compõem as camadas de vedação da edificação altera significativamente o valor U (transmitância térmica) do sistema de fachada. Com a finalidade de ilustrar esta variação, foram reunidos na Tabela 8 os valores U dos sistemas de fachadas com partes opacas.

Tabela 8 – Valor U dos sistemas de fachada simulados.

| **N.º** | **U Opaco** | **U Vidro** | **U externo Média** | **% Vidro** |
|---|---|---|---|---|
| M01 | 2,66 | 5,80 | 4,43 | 25 |
| M02 | 3,29 | 5,80 | 4,38 | 25 |
| M03 | 0,45 | 5,80 | 3,43 | 25 |
| M04 | 0,45 | 5,80 | 3,43 | 25 |
| M05 | 0,27 | 5,80 | 3,34 | 25 |
| M05.2 | 0,45 | 5,80 | 3,39 | 25 |
| M10 | 0,13 | 5,80 | 3,32 | 25 |

O valor U médio é o valor obtido pela conjunção do material opaco com a proporção de janela da fachada. Enquanto o modelo M01 apresenta um valor U para o complexo do sistema de fachada de 4,43, o modelo M05 apresenta um valor U de 3,34. Verifica-se então que a eficiência energética de uma fachada de edifícios de escritórios é maior quanto menor for a transmitância térmica do seu sistema.

Os resultados das simulações das fachadas que utilizam pele de vidro indicam aumentos consideráveis nas temperaturas internas dos ambientes, relacionadas à maior absorção de energia solar possibilitada pelo maior percentual de abertura da fachada (vidro), que é de 67%. Os valores para os custos com climatização indicam também um acréscimo muito expressivo, podendo chegar a até R$ 28.000,00 (vinte e oito mil reais) mais caros do que os sistemas tradicionais em pintura e cerâmica. Observa-se também que o vidro duplo apresenta uma leve melhora na eficiência do sistema de climatização em relação ao vidro simples. Tal fato se dá, novamente, pela redução do valor U do sistema de fachada. Esta economia é, porém, irrisória, e não justificaria o custo inicial de implantação de um sistema mais caro e complexo. A colocação de vidros coloridos, em substituição aos vidros incolores na fachada com pele de vidro simples indica uma leve redução nas temperaturas internas médias, porém, acusa um pequeno aumento no custo de climatização de aproximadamente 2 mil reais ao ano. Essa variação nos valores dos sistemas em pele de vidro deve ser melhor investigada em pesquisas específicas dedicadas aos tipos de vidros e com base em outros aspectos como o fator solar, por exemplo.

Em relação aos sistemas com maior percentual de superfície opaca, o sistema de fachada ventilada foi a solução que mais economizou energia dentre todas as opções de sistemas.

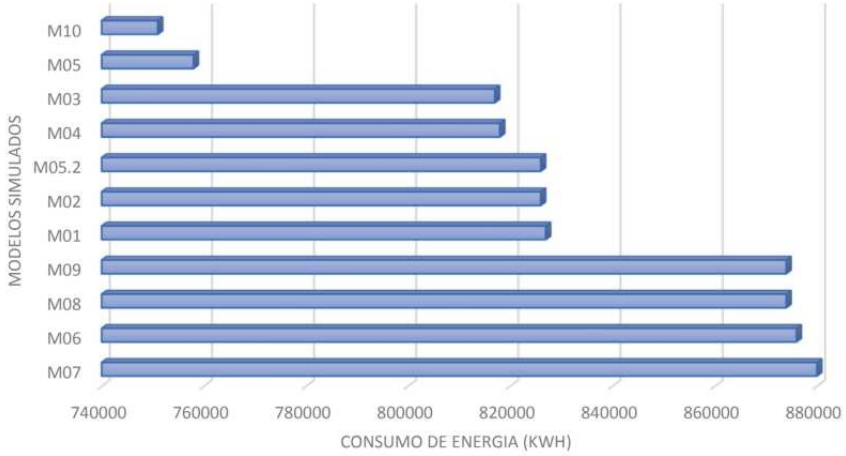


Figura 8 – Classificação de eficiência energética dos modelos simulados, do mais eficiente ao menos eficiente.

A partir dos resultados analisados foi efetuada a classificação dos sistemas em relação ao desempenho térmico. A classificação é demonstrada no Figura 8, que indica, na parte superior, o modelo que apresenta o menor consumo e, portanto, mais eficiente energeticamente, seguindo em ordem crescente de consumo e decrescente de eficiência, os outros modelos simulados.

## 5. CONCLUSÕES

A pesquisa mune os projetistas de informações a respeito da variável relacionada à eficiência energética dos diversos sistemas de fachada possíveis de serem executados na região proposta, identificando um modelo de edifício e ocupação recorrente, aplicando situações reais de utilização dos espaços e simulando onze modelos de sistemas de fachada no software *EcoDesigner Star*, *plug in* do *Archicad*. O resultado obtido indica a fachada ventilada, que proporciona um distanciamento entre as vedações interna e externa do edifício, como o sistema mais eficiente energeticamente, seguido do sistema com *Light Steel Frame*, que também possui esta separação entre as vedações. Os sistemas de fachadas que utilizam peles de vidro são os sistemas menos eficientes energeticamente, contribuindo para o grande aquecimento dos ambientes internos. O software utilizado, porém, apresenta limitações na avaliação da circulação de ar no interior da fachada ventilada, o que impede a avaliação real do consumo de energia nesta variante de sistema. É importante, em trabalhos futuros, o desenvolvimento de mais pesquisas envolvendo simulações computacionais de eficiência energética em softwares de tecnologia BIM (*Building Information Modeling)*, para que se aprimorem as avaliações nestes programas e para que este tipo de avaliação se torne comum em escritórios de projetistas em todo o Brasil.

## REFERÊNCIAS BIBILIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. **O escritório no século XXI**. Editora C4. 2013.

ANTOCHEVIZ, F. B.; REIS, A. T. L.; **Edifícios altos:** avaliação de impacto em seus contextos urbanos. Arquisur Revista, Ano 6, N.º 9, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9077 –** Saídas de emergência em edifícios. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15.220-2:** Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15.575:** Edificações Habitacionais – Desempenho. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 16.401 -** Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários. Revisão. Novembro 2017. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/140624%20REVISA%CC%83O%20ABNT%20NBR%2016401_2_versao%202017.pdf. Acesso em: Dezembro 2019.

GONÇALVES, J. C. S.; DUARTE, D. H. S. **Arquitetura sustentável**: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. Porto Alegre: Ambiente Construído, v. 6, n. 4, p. 51-81, 2006

HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. Introduction to Building Performance Simulation. In: HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R (Orgs.). Building Performance Simulation For Design and Operation. New York: Spon Press, cap.1, p. 1-14, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. IBGE Cidades. Panorama. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/vitoria/panorama>. Acesso em: Maio de 2019.

IJSN – INSTITUTO JONES SANTOS NEVES. Posição Geográfica, dimensões e limites do ES. S.d. Disponível em: <http://www.ijsn.es.gov.br/mapas/>. Acesso em: Abril de 2019.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – LabEEE. **Arquivos climáticos.** Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>. Acesso em: Dezembro de 2019.

SANTOS, J. C. P.; KOTHE, K. K.; MOHAMAD, G.; VAGHETTI, M. A. O.; RIZZATTI, E. **Comportamento térmico de fechamentos em alvenaria estrutural para a Zona Bioclimática 2 brasileira**. Revista Matéria, 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA. **Localização do município de Vitória na Região Metropolitana da Grande Vitória**, 2011. Disponível em: <http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/geral/Dados/localizacao_vitoria_RMGV.pdf>. Acesso em Abril de 2019.