

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS PONTA GROSSA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA

FLÁVIA DE ANDRADE

**ESTUDO DE CASO: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE
DESEMPENHO ENERGÉTICO DO EDIFÍCIO DA EMPRESA
MGD EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2016

FLÁVIA DE ANDRADE

**ESTUDO DE CASO: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE
DESEMPENHO ENERGÉTICO DO EDIFÍCIO DA EMPRESA
MGD EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior em Engenharia Eletrônica do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELE – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Orientador: Prof. Eduardo Moletta



FOLHA DE APROVAÇÃO

ESTUDO DE CASO: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DO EDIFÍCIO DA EMPRESA MGD EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Desenvolvido por:

FLÁVIA DE ANDRADE

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado em 18 de novembro de 2016, como requisito parcial para obtenção do título de Engenharia Eletrônica. Os candidatos foram arguidos pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinado. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Eduardo Moletta, Msc.
Professor Orientador

Prof. Jeferson José Lima, Msc.
Membro titular

Prof. Paulo Sérgio Parangaba Ignácio, Esp.
Membro titular

Dedico este trabalho com todo carinho aos meus pais, irmãos e ao meu namorado que me incentivaram e que me deram total apoio para a concretização de mais essa etapa em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Adão e Ermelinda, por todo amor e suporte ao longo de todos os anos na universidade.

Agradeço aos meus irmãos, Vivian, Ellen e Felipe, pelo exemplo de dedicação e de caráter e, também, por todos os conselhos e incentivos.

Agradeço ao meu incrível namorado, Mateus, por ter se tornado meu maior companheiro, por acreditar tanto em mim e por me inspirar a querer ser cada vez melhor. Em especial, por ter se dedicado à este projeto e me apoiado com tanto envolvimento.

Agradeço ao meu orientador, Professor Eduardo Moletta, pelo engajamento e disposição em me auxiliar a elaborar este trabalho e, ainda, por toda instrução e conhecimento compartilhado.

Agradeço a empresa MGD Eficiência Energética por tudo que tenho aprendido e crescido no desenvolvimento de projetos na área de eficiência energética e pela colaboração na aplicação deste estudo.

RESUMO

A demanda de energia mundial se encontra em tendência de crescimento acelerado devido ao aumento da população e do consumo per capita. Grande parte dessa demanda se destina ao uso em edificações, nos setores comercial, residencial e industrial, onde há diversas oportunidades de melhoria. O estudo dessas melhorias, visando diminuir o consumo energético mantendo a performance e o conforto das edificações, recebe o nome de eficiência energética. Esse trabalho se propõe a estudar a aplicação de simulações computacionais do desempenho térmico e energético de edificações, por meio do software EnergyPlus, em estudo de caso para redução de consumo de energia elétrica de uma edificação comercial localizada na região de São Paulo. A modelagem geométrica da envoltória da edificação foi realizada com auxílio de outros softwares, em seguida carregada no EnergyPlus com dados complementares para avaliação do conforto térmico do edifício e do consumo energético, este último dividido em três sistemas: climatização, iluminação e demais equipamentos elétricos. Realizou-se primeiramente a simulação da situação atual do edifício com o objetivo de diagnóstico de oportunidades para reduzir consumo, e em seguida uma segunda simulação implementando, em ambiente computacional, medidas de eficiência energética propostas. Os resultados da situação atual da edificação demonstraram desequilíbrio nas cargas térmicas, com ambientes atingindo temperaturas de até 35°C no verão e 11°C no inverno, sendo grande parte dessa carga térmica devido a janelas do edifício – correspondente a 50% do total da carga térmica da edificação. Com base nesse cenário foram propostas as seguintes medidas passivas de eficiência energética: instalação de sombreamento nas janelas, diminuição da área total de vidro e mudança do tipo de vidro utilizado, mudança da cor do telhado, adição de camadas de gesso nas paredes e implantação de sistemas de controle e automação para a iluminação. Dessa forma, foi possível demonstrar, pelos resultados da simulação, uma redução da carga térmica das janelas para 28% do total da edificação, com queda de até 2,4 °C na temperatura média dos ambientes internos durante o verão e aumento de 1,7 °C durante o inverno. O consumo energético total foi reduzido em 23%, de aproximadamente 18,5 MWh para 14,6 MWh anuais, impulsionado pela menor demanda dos sistemas de climatização, após adequação do desempenho térmico, e do sistema de iluminação. É possível concluir que, por meio de medidas simples e uso eficiente das ferramentas de simulação computacional, são alcançados resultados expressivos na redução da utilização de energia elétrica em edificações, trazendo benefícios econômicos e ambientais.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Simulação Computacional Termo-energética, Conforto Térmico, EnergyPlus, OpenStudio.

ABSTRACT

Energy demand worldwide presents an accelerated growth trend for the future due to rising population numbers and per capita consumption. A large share of this demand is used in building on commercial, residential and industrial sectors, where opportunities for improvement are widely available. The field that studies these improvements, aiming to reduce energy consumption while maintaining performance and comfort inside buildings, is called energy efficiency. This paper intends to study the application of energy consumption and thermal performance simulation software in buildings, using the open-source platform EnergyPlus for a case study on a commercial building located in São Paulo, Brazil. The geometrical modeling of the building envelope was developed with the aid of secondary software, and was then used in EnergyPlus with additional data to evaluate thermal comfort and electric energy consumption, divided in three systems: air conditioning, lighting and other electrical devices. A first stimulation was developed to represent the current state of the building with the objective to diagnose opportunities for energy saving, and then a second simulation was completed with the implementation of proposed energy efficiency measures. Results of the current situation of the building have shown that thermal loads were poorly managed, with some building zones reaching up to 35 °C during the summer and 11 °C during winter, and this was mainly due to the thermal load from windows, that represented about 50% of total thermal load of the building. Based on this scenario the following measures were proposed: using shading structures on windows (brise-soleil), reducing the total area of glass and changing the type of glass used, changing the color of the roof for a light color, adding a plaster layer on walls and applying lighting systems controls. This way, the thermal load of windows was reduced to 28% of the total load of the building, and interior zones have experienced a drop of 2,4°C in the average temperature during the summer and rise of 1,7 °C during the winter. Total energy consumption was reduced in 23%, from 18,5 MWh to 14,6 MWh yearly, associated with a lower energy demand from HVAC systems, after thermal comfort was adequate, and from lighting systems. It's possible to conclude that the use of simple energy efficiency measures and effective application of thermal energetic simulation software results in relevant savings on electric energy consumption by buildings, introducing benefits to society and the environment.

Keywords: Energy Efficiency, Thermal Energetic Simulation, Thermal Comfort, EnergyPlus, OpenStudio.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Consumo Energético Mundial: Histórico e Projeções.	10
Figura 02 – Mecanismo de Condução de Calor na Envoltória.....	15
Figura 03 – Mecanismo de Condução de Calor na Envoltória.....	15
Figura 04 – Mecanismo de Radiação de Calor na Envoltória.	16
Figura 05 – Mecanismos de Troca de Calor Aplicados a Edificações.....	17
Figura 06 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro.	17
Figura 07 – Níveis de Iluminância definidos pela Norma Brasileira.	19
Figura 08 – Ciclo de Refrigeração.	20
Figura 09 – Distribuição Média do Consumo de um Edifício por Uso Final.	21
Figura 10 – Diagrama do Uso das Ferramentas Computacionais para Simulação.....	23
Figura 11 – Gerenciamento de Simulação por Módulos do EnergyPlus.....	25
Figura 12 – Interface de Edição de Parâmetros - EnergyPlus.	26
Figura 13 – Dimensões Avaliadas - Certificação LEED.	27
Figura 14 – Edifício MGD Eficiência Energética.	29
Figura 15 – Corte Transversal do Edifício.	29
Figura 16 – Modelo Geométrico do Edifício Atual.	31
Figura 17 – Modelo Geométrico do Edifício Proposto.	34
Figura 18 – Área de Vidro: Sistema Atual versus Proposto.	35
Figura 19 – Tipo de Vidro: Sistema Atual versus Proposto.	35
Figura 20 – Composição das Paredes: Sistema Atual versus Proposto.	36
Figura 21 – Reflexão do Telhado - Edifício Proposto.	37
Figura 22 – Sombreamento: Brises Horizontais - Edifício Proposto.	37
Figura 23 – Sistema de Iluminação Natural - Edifício Proposto.	38
Figura 24 – Mapa de Conforto Térmico - Edifício Atual: Verão.	40
Figura 25 – Mapa de Conforto Térmico - Edifício Atual: Inverno.	40
Figura 26 – Mapa de Carga Térmica - Edifício Atual.	41
Figura 27 – Mapa de Conforto Térmico - Edifício Proposto: Verão.	42
Figura 28 – Mapa de Conforto Térmico - Edifício Proposto: Inverno.	43
Figura 29 – Mapa de Carga Térmica - Edifício Proposto.	43
Figura 30 – Mapa de Consumo Energético - Edifício Atual.	45
Figura 31 – Mapa de Consumo Energético - Edifício Proposto.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Informações de Cálculo.....	30
Tabela 02 – Divisão de Zonas Térmica do Modelo Geométrico.	31
Tabela 03 – Elementos Construtivos do Edifício - Edifício Atual.	32
Tabela 04 – Propriedade Térmica dos Materiais - Edifício Atual.....	32
Tabela 05 – Propriedade Térmica do Vidro - Edifício Atual.....	32
Tabela 06 – Sistema de Iluminação - Edifício Atual.	33
Tabela 07 – Relação de Medidas de Eficiência Energética Propostas	33
Tabela 08 – Mapa de Carga Térmica Diária [W] - Edifício Atual.	41
Tabela 09 – Mapa de Carga Térmica Diária [W] - Edifício Proposto.	43
Tabela 10 – Consumo de Energia Anual - Edifício Atual.	44
Tabela 11 – Consumo de Energia Anual - Edifício Proposto.	45

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
COP	Coefficiente de Performance
DOE	<i>Department of Energy</i>
DPI	Densidade de Potência Instalada
EIA	<i>Energy Information Administration</i>
ESCO	<i>Energy Saving Company</i>
GBCBrasil	<i>Green Building Council Brasil</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IEO	<i>International Energy Outlook</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
MEE	Medida de Eficiência Energética
OECD	<i>Organization for Economic Cooperation and Development</i>
USGBC	<i>United States Green Building Council</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VRV	Volume de Refrigerante Variável

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 APRESENTAÇÃO.....	10
1.2 JUSTIFICATIVA	11
1.3 OBJETIVOS	11
1.3.1 Objetivo Geral	11
1.3.2 Objetivos Específicos	12
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES	13
2.1.1 Envoltória de Edificações	13
2.1.2 Consumo Energético de Edificações: Usos Finais	18
2.2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL TERMO-ENERGÉTICA.....	22
2.3 CERTIFICAÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	26
3. METODOLOGIA	28
3.1 APRESENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO.....	28
3.1.1 Perfil do Empreendimento	28
3.1.2 Descrição Geral do Edifício	29
3.1.3 Informações de Cálculo Comuns entre as Edificações.....	29
3.2 EDIFICAÇÃO ATUAL.....	30
3.2.1 Modelo Geométrico.....	30
3.2.2 Envoltória da Edificação.....	31
3.2.3 Sistema de Iluminação.....	33
3.3 EDIFICAÇÃO PROPOSTA.....	33
3.3.1 Modelo Geométrico.....	34
3.3.2 Envoltória da Edificação.....	34
3.3.3 Sistema de Iluminação.....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1 SIMULAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO	39
4.1.1 Edificação Atual.....	39
4.1.2 Edificação Proposta com Medidas de Eficiência Energética	42
4.2 SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO DE CONSUMO ENERGÉTICO	44
4.2.1 Edificação Atual.....	44
4.2.2 Edificação Proposta com Medidas de Eficiência Energética	45
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS	49

1. INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O desenvolvimento da humanidade sempre aliou-se ao aumento da demanda energética mundial, e essa tendência pode ser observada em diversas previsões populacionais e de consumo energético. Segundo estudo sobre Perspectivas da População Mundial, publicado pela Organização das Nações Unidas, a população deve crescer em 32% entre 2015 e 2050 (United Nations, 2015). Não obstante, em análise similar, no último relatório divulgado pelo Departamento de Administração de Informações Energéticas do governo norte-americano (2016), nota-se que o consumo energético no mundo deve ter um crescimento de 48% próximo deste período, conforme visualizado no gráfico a seguir:

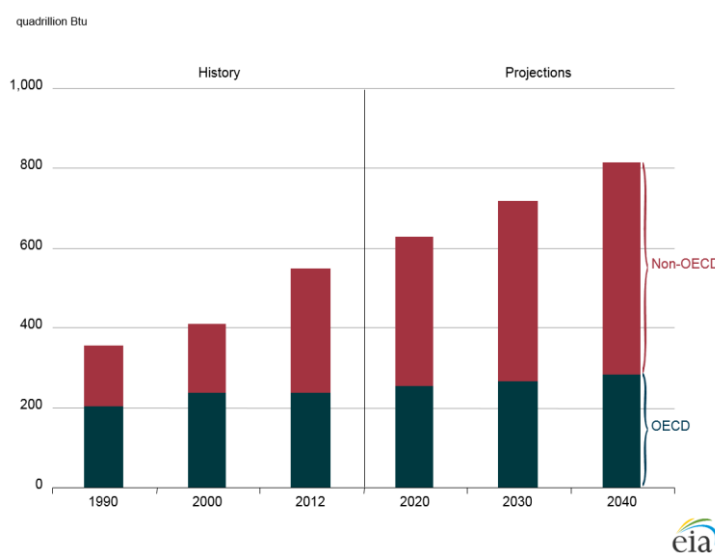


Figura 01 - Consumo Energético Mundial: Histórico e Projeções.¹
 Fonte: *International Energy Outlook 2016 (IEO, 2016)*.

Nesse contexto, é crescente em todo o mundo a preocupação em se otimizar o consumo de energia, de modo a reduzir custos relacionados a seu fornecimento e garantir capacidade de desenvolvimento das nações mantendo a qualidade de vida de seus habitantes e de operação de seus sistemas. Para tanto, é fundamental o surgimento de técnicas de avaliações sobre aspectos energéticos que possibilitem o desenvolvimento e implantação de medidas de eficiência energética e minimização de impactos econômicos e ambientais.

¹ OECD_ *Organization for Economic Cooperation and Development*

Dentre essas técnicas avaliações, destaca-se a realização de análises energéticas em edifícios, sejam eles residenciais, comerciais ou industriais. De acordo com estimativas da Agência Internacional de Energia, o uso de tecnologias mais avançadas e políticas de eficiência energética nesse setor podem gerar uma economia de 29% do consumo global de energia até 2050, correspondente ao consumo de edificações na China, França, Alemanha, Rússia, Reino Unido e Estados Unidos em um ano (IEA, Building Energy Performance Metrics, 2015).

1.2 JUSTIFICATIVA

Considerando os problemas associados ao crescimento de demanda energética - oferta limitada de energia e elevados custos relacionados - e tendo em vista que as edificações são responsáveis por cerca de 35% do consumo da energia global, e que em certas regiões - predominantemente onde são necessários sistemas de aquecimento e refrigeração robustos - essa proporção pode ser ainda maior, chegando a 40% como na Europa (Filippín, 2007), a aplicação de conceitos de eficiência energética em edificações se faz fundamental. Assim, o presente trabalho busca apresentar medidas de eficiência energética e de conservação de energia que proporcionem impacto significativo na redução do consumo de energia de edificações.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um estudo de caso sobre a aplicação de ferramentas de simulação do desempenho térmico e energético em um edifício comercial de uma empresa atuante no ramo de eficiência energética - situada em São Paulo - visando demonstrar o potencial dessa metodologia no diagnóstico energético e na investigação de diversas alternativas de redução de consumo de energia e melhoria de conforto térmico.

Para atingir esta finalidade, na avaliação de desempenho será realizada uma análise sistemática, baseada em métodos consistentes capazes de produzir uma

interpretação objetiva sobre o comportamento esperado dos sistemas de um edifício nas condições de uso definidas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o desempenho energético, térmico e lumínico do edifício atual da empresa MGD Eficiência Energética;
- Analisar o impacto de medidas de eficiência energética referente ao conforto térmico proporcionado e ao consumo de energia dos sistemas de iluminação e climatização;
- Comparar a situação do edifício atual em relação ao edifício proposto.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto de cinco capítulos. O primeiro capítulo se destina a introdução, sendo esta subdividida em apresentação, justificativa e objetivos, todos estes tratados de forma sucinta.

O segundo capítulo fornece um embasamento teórico sobre eficiência energética em edifícios e uma contextualização necessária para o entendimento das ferramentas computacionais utilizadas no estudo.

O terceiro capítulo aborda a metodologia do trabalho, os parâmetros do edifício atual, a relação de medidas de eficiência energética selecionadas e aplicação das mesmas ao edifício proposto.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos sobre o desempenho do edifício atual e do edifício proposto em duas diferentes análises: uma de conforto térmico e outra de consumo energético.

Finalmente, o quinto capítulo apresenta as conclusões mais relevantes obtidas com este estudo e sugestões para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES

O conceito de eficiência energética é definido pela otimização na conversão de uma energia primária em energia útil (Sola & Kovaleski, 2004). Desse modo, em termos de edificações, uma construção se torna mais eficiente energeticamente que outra quando proporciona as mesmas condições ambientais com um menor consumo de energia (Lamberts, 2015). Outrossim, de acordo com Fernandes (2001) a eficiência energética de edificações também pode ser avaliada pela sua performance em oferecer conforto térmico e níveis de iluminação adequados e de qualidade aos seus usuários.

A análise de eficiência térmica e energética de um edifício é realizada considerando diversos fatores, os quais se inter-relacionam e variam desde as condições do clima local, dos componentes construtivos da edificação, de seus sistemas de instalações até a administração e planos de manutenção da construção (Velooso & Elali, 2004). As seções a seguir visam apresentar os principais fatores que influenciam o desempenho dos edifícios.

2.1.1 Envoltória de Edificações

A envoltória é entendida como a pele da edificação, ou seja, os planos de fachadas e coberturas expostos da edificação que separam o ambiente interno do ambiente externo. Seus materiais e elementos construtivos determinam como o edifício responderá as condições climáticas externas (MMA, 2016).

Os itens abaixo identificam as principais características da envoltória: as propriedades físicas dos elementos construtivos e o efeito de transferência de calor em edificações, bem como a norma que rege o desempenho térmico de edificações no Brasil.

a) Propriedades Físicas dos Elementos Construtivos

Para fins de avaliação de desempenho energético de edificações, as características mais consideradas dos elementos construtivos são definidas, de acordo com Incropera & DeWitt (2011), a seguir.

- **Condutividade Térmica** [W/mK]: representa a capacidade de conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo. A condutividade térmica de um material é proporcional à densidade do mesmo;
- **Transmitância Térmica** [Fator U]: corresponde a capacidade de transmissão calor de um material;
- **Fator Solar** [SHGC – *Solar Heat Gain Coefficiency*]: refere-se a razão entre a quantidade de energia solar que é transmitida através do elemento e o total de energia que nele incide;
- **Transmitância a Radiância Visível** [VLT – *Visible Light Transmittance*]: constitui a razão entre a radiação solar no espectro visível que é transmitido através de um elemento e o total nele incidente;
- **Densidade** [kg/m³]: define-se como o quociente entre massa e volume de um material;
- **Calor Específico** [J/kgK]: representa a variação térmica de um elemento ao receber determinada quantidade de calor;
- **Emissividade** [ε]: corresponde à capacidade de emissão de energia por radiação da superfície de um material.

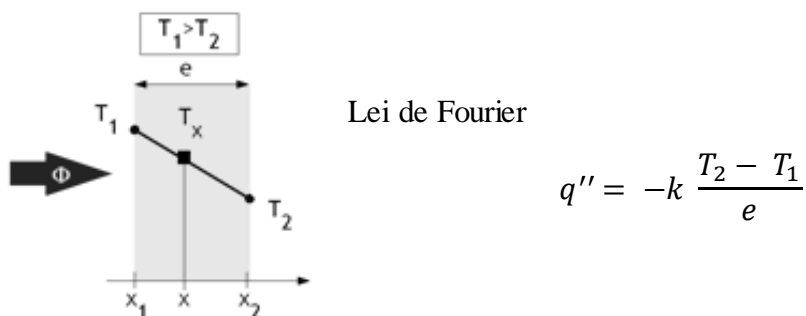
b) Transferência de Calor em Edificações

Define-se como transferência de calor toda troca de energia térmica entre dois corpos que se encontram em temperaturas distintas, sendo a direção do fluxo térmico total sempre do corpo de maior temperatura para o de menor, ainda que haja emissão de radiação térmica do corpo mais frio para o mais quente (Incropera & DeWitt, 2011).

A transferência de calor pode ocorrer por três mecanismos distintos: condução, convecção e radiação, definidos conforme subseções a seguir.

- **Mecanismo de Condução**

A condução ocorre entre sólidos que se encontram em contato físico, sendo afetada pelo tipo de material de composição, geometria, espessura e diferença de temperatura pela conhecida Lei de Fourier (Ordenes & Lamberts, 2008). A equação da taxa de transferência de calor por condução para uma parede plana simples é obtida conforme o esquema simplificado abaixo:



$$q'' = -k \frac{T_2 - T_1}{e}$$

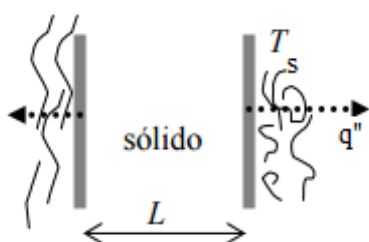
Figura 02 – Mecanismo de Condução de Calor na Envoltória.

Fonte: *Fundamentals of Heat and Mass Transfer (Incropera & DeWitt, 2011)*.

Onde, q'' representa o fluxo de calor por unidade área [W/m^2], k a condutividade térmica do material [W/mK], e a espessura da parede [m], e T_1 e T_2 as temperaturas analisadas interna e externamente.

- **Mecanismo de Convecção**

A transferência de calor por convecção se dá na presença de fluidos (líquidos ou gases) com a movimentação ascendente de correntes quentes e descendente de correntes frias, originadas na diferença de densidade observada pelos efeitos da dilatação térmica no fluido (Incropera & DeWitt, 2011). A equação da taxa de transferência de calor por convecção é obtida conforme o esquema simplificado abaixo:



Lei de Newton

$$q'' = -h A (T_s - T_\infty)$$

Figura 03 – Mecanismo de Condução de Calor na Envoltória.

Fonte: *Transferência de Calor na Envoltória da Edificação (Ordenes & Lamberts, 2008)*.

Onde, q'' representa o fluxo de calor por unidade área [W/m^2], h o coeficiente de convecção [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$], e T_s a temperatura da superfície.

- **Mecanismo de Radiação**

Por fim, o mecanismo de radiação térmica representa a emissão de ondas eletromagnéticas pela matéria, não há necessidade de um meio, podendo ocorrer até

mesmo no vácuo. Na condição teórica de corpo negro a emissão de radiação é máxima, porém todos os objetos emitem apenas uma fração desse total de energia de corpo negro (Incropera & DeWitt, 2011). Essa fração é a chamada emissividade (ϵ) e o equacionamento da transferência de calor

por radiação é descrito abaixo:

Lei de Steffan-Boltzmann

$$q'' = \sigma \epsilon T_s^4$$

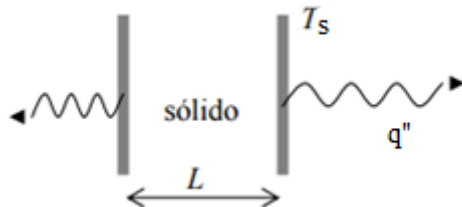


Figura 04 – Mecanismo de Radiação de Calor na Envoltória.

Fonte: Transferência de Calor na Envoltória da Edificação (Ordenes & Lamberts, 2008)

Onde, q'' representa o fluxo de calor por unidade área [W/m^2], σ a constante de Steffan-Boltzmann, ϵ a emissividade do material, e T_s a temperatura da superfície.

Durante a simulação de conforto térmico todos os mecanismos citados acima são considerados para se determinar o fluxo de calor total entre o ambiente interno e externo. Em função disso, o balanço energético da envoltória da edificação é estabelecido como a diferença entre a energia que ingressa e que sai, devendo esta ser igual à variação de energia no interior da envoltória, isto é, o balanço energético de um edifício tem como base a primeira lei de termodinâmica, a lei de conservação de energia.

A figura 5 a seguir apresenta todas as correntes internas de ar convectivas e a carga térmica final resultante dos componentes da edificação, considerando a geração de calor interna por equipamentos e pessoas, além das influências das condições externas do ambiente.

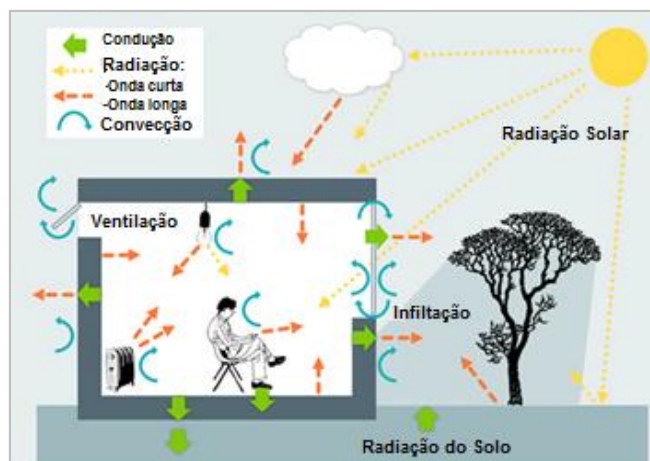


Figura 05 – Mecanismos de Troca de Calor Aplicados a Edificações.
Fonte: Adaptado de Energia e Arquitetura (2016).

c) Norma de Desempenho Térmico de Edificações

No Brasil, o desempenho térmico de edificações é regido pela norma NBR 15220-3/2005, a qual apresenta diretrizes construtivas para zoneamento bioclimático do país. Estas zonas bioclimáticas são divididas em oito conforme visualizado na figura abaixo:

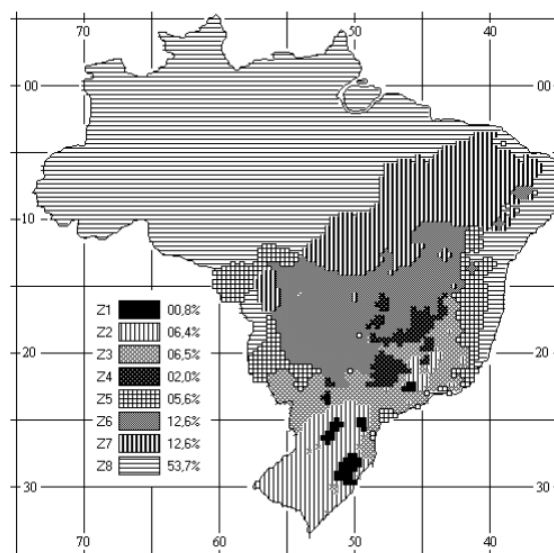


Figura 06 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro.
Fonte: NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005).

Para cada zona são definidos padrões de tamanho das aberturas para ventilação (fração da área do piso), proteção das aberturas, vedação das paredes externas e cobertura, e, ainda estratégias de condicionamento térmico passivo. O conforto térmico determinado pela norma é uma faixa de 21 a 27 °C para ambientes na zona bioclimática

Z3, abrange o município de São Paulo onde se localiza o caso aqui estudado (NBR 15220, 2005).

2.1.2 Consumo Energético de Edificações: Usos Finais

O consumo de energia elétrica de um edifício é estudado pela subdivisão de sistemas: iluminação, climatização e equipamentos elétricos. A tecnologia de cada um desses sistemas vem sendo aperfeiçoada ao longo dos anos para diminuição do consumo (aumento da eficiência), porém o número de aparelhos conectados à rede de alimentação aumenta constantemente de maneira paralela. Os itens a seguir apresentam os índices e propriedades de cada sistema.

a) Sistemas de Iluminação

As tecnologias de sistemas de iluminação artificial sofreram grandes avanços ao longo do tempo. As lâmpadas incandescentes foram as primeiras a popularizar seu uso, porém apresentavam grande perda de energia em efeitos térmicos (e por sua vez constituíam uma fonte de calor indesejada em ambientes internos). As lâmpadas fluorescentes também conquistaram uma parcela do mercado com maior vida útil e menor consumo energético, porém ainda dividiam espaço com as incandescentes. E, atualmente, o LED (*Light Emitting Diode*) tem sua aplicação tomando o espaço das outras tecnologias pois possuem vida útil expressivamente maior e consumo energético muito menor comparado às demais (Beltram, 2015).

Dentro das edificações, os sistemas de iluminação são responsáveis por consumir cerca de 25% da energia elétrica conforme relatado pelo Departamento de Energia dos EUA (2008). A otimização desses sistemas, portanto, representa grande relevância a projetos de eficiência energética.

A seguir são apresentados conceitos e definições relacionados a sistemas de iluminação, bem como a normatização de sistema de iluminação (NBR ISO 8995-1, 2013).

- **Fluxo luminoso** [ϕ]: consiste na medida básica da quantidade de luz emitida (radiação total) por uma fonte em sua tensão nominal de funcionamento, medido em lúmen (lm);

- **Eficiência luminosa [E]:** avalia a quantidade de lúmens emitidos por uma lâmpada para cada unidade de energia consumida, ou seja, o fluxo luminoso gerado pela fonte dividido pela potência elétrica consumida, medido em lúmen por watt (lm/W);
- **Illuminância [I]:** analisa a incidência de fluxo luminoso em uma superfície, adotando-se o valor médio devido a não uniformidade no direcionamento do fluxo luminoso de uma fonte, medido em (lm/m² ou lux).

Considerando estes conceitos, a norma NBR ISO 8995-1 (2013) determina requisitos de iluminação em ambientes de trabalho. A norma se baseia no nível de iluminância para cada ambiente e atividade, e também abrange outros aspectos como a cor da iluminação (temperatura de cor) e o limite para efeitos como cintilação. A figura a seguir apresenta os níveis de iluminância definidos pela Norma Brasileira.

	ILUMINÂNCIA (lux)	TIPO DE AMBIENTE / ATIVIDADE
CLASSE A (áreas de uso contínuo e/ou execução de tarefas simples)	20 - 30 - 50	- ruas públicas e estacionamentos
	50 - 75 - 100	- ambientes de pouca permanência
	100 - 150 - 200	- depósitos
CLASSE B (áreas de trabalho em geral)	200 - 300 - 500	- trabalhos brutos e auditórios
	500 - 750 - 1.000	- trabalhos normais: escritórios e fábricas
	1.000 - 1.500 - 2.000	- trabalhos especiais: gravação, inspeção, indústrias de tecidos
CLASSE C (áreas com tarefas visuais minuciosas)	2.000 - 3.000 - 5.000	- trabalho contínuo e exato: eletrônica
	5.000 - 7.500 - 10.000	- trabalho que exige muita exatidão: placas eletro-eletrônicas
	10.000 - 15.000 - 20.000	- trabalho minucioso especial: cirurgia

Figura 07 – Níveis de Iluminância definidos pela Norma Brasileira.
Fonte: NBR ISO 8995-1 (ABNT, 2013).

b) Sistemas de Climatização

Os sistemas de climatização são responsáveis pela refrigeração e calefação de ambientes e representam cerca de 33% do consumo de energia de uma edificação (DOE - Department of Energy, 2008). Nesse sentido, medidas de eficiência energética aplicadas a estes sistemas podem impactar relevantemente no consumo total de energia elétrica neste setor.

Estes sistemas são conhecidos no Brasil pela sigla AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) ou HVAC (do inglês, *Heating, Ventilation and Air*

Conditioning). No contexto brasileiro trabalha-se com sistemas de refrigeração e ventilação, sendo raros os casos de utilização de sistemas de aquecimento ou calefação.

Um ciclo de refrigeração atua promovendo o fluxo de calor na direção contrária, transferindo energia térmica de uma região ou material de menor temperatura para outro de maior temperatura, com consumo de energia externa (Beyer, 2011). Aparelhos de ar condicionado atuam com a compressão de um fluido (gás) refrigerante, que é posteriormente expandido e recebe calor do ambiente no processo de refrigeração (França, s.d.). A figura a seguir apresenta o ciclo básico de refrigeração.

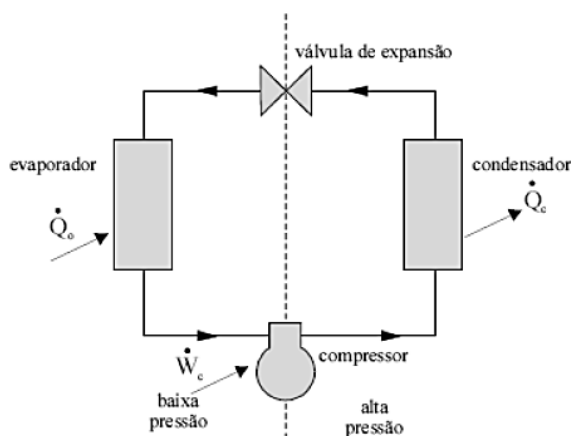


Figura 08 – Ciclo de Refrigeração.

Fonte: Simulação Computacional do Desempenho Energético de uma Edificação Comercial (Beltram, 2015).

Nota-se que o ciclo de refrigeração atua por meio da transferência de calor da unidade evaporadora para a condensadora. Na unidade evaporadora, o fluido de refrigeração absorve o calor presente no ar do ambiente e evapora. Em seu estado gasoso, o mesmo é sugado para o compressor com o propósito de ser comprimido a vapor de alta pressão para dessa forma, passar no condensador, perder calor para o ambiente externo e condensar. Nessa aplicação a válvula de expansão é usada para expandir o fluido, completando o ciclo (Beltram, 2015).

A avaliação e dimensionamento de sistemas AVAC são complexas e diversas metodologias são utilizadas. Uma das métricas mais importantes a ser avaliada é o coeficiente de performance (PROCEL, Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial, 2005):

$$COP_R = \frac{Q}{P}$$

Onde Q é o calor transferido no ciclo e P é a potência elétrica consumida.

- **Tipos de Sistemas de Climatização**

Existem diversas tecnologias para sistemas de refrigeração, variando de acordo com o grau de investimento planejado e a capacidade total de atendimento. Os sistemas mais comuns incorporam todos os componentes em um único aparelho, sendo adequados para ambientes pequenos e conhecidos como ar condicionado de janela. Splits, onde o condensador e o evaporador ficam separados, e Multisplits, no qual vários evaporadores são acoplados a um único condensador central, são considerados mais complexos e podem possuir controladores para operação em função de *setpoints* de um termostato acoplado (PROCEL, Manual Prático de Ar Condicionado, 2011).

Atualmente, dentre os classificados como mais eficientes, tem-se o VRV (*Variable Refrigerant Volume*), os quais possuem controle dinâmico, no qual o volume de gás refrigerante comprimido é ajustado conforme o erro medido pelo controlador.

c) Equipamentos Elétricos

De acordo com PROCEL – Eletrobrás (2007), cerca de 31% do consumo de um edifício é referente a equipamentos elétricos, como demonstra a figura 09 a seguir. Esse fato pode ser explicado pela crescente quantidade de aparelhos eletrônicos que tem surgido no mercado com o desenvolvimento de novos dispositivos e sua incorporação nas atividades cotidianas, resultando, portanto, em um maior consumo de energia elétrica na totalidade de um edifício.

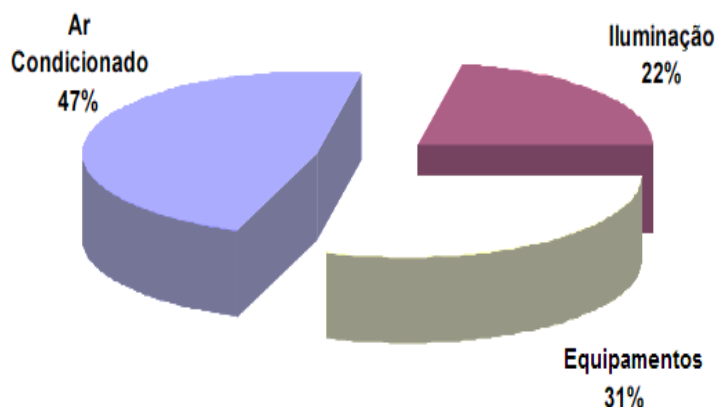


Figura 09 – Distribuição Média do Consumo de um Edifício por Uso Final.
 Fonte: Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa Setor Comercial (Eletrobras, 2007).

Como observado, tanto os equipamentos elétricos quanto os sistemas de iluminação e climatização representam basicamente todo o consumo energético de um edifício. Em função disso, a escolha destes sistemas apresenta grande influência no desempenho de cada construção seja em relação ao seu comportamento térmico como também ao seu consumo de energia.

Desse modo, com intenção de dimensionar tais sistemas com maior precisão e avaliar a demanda em um edifício durante longos períodos, a simulação computacional termo-energética tem sido bastante aplicada, se tornando uma importante ferramenta para avaliação de soluções passivas e ativas que objetivam a obtenção de melhores condições de conforto e consumo de energia otimizado.

A seção 2.2 a seguir propõe a apresentação do conceito de simulação computacional termo-energética, bem como os principais softwares utilizados e suas metodologias aplicadas.

2.2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL TERMO-ENERGÉTICA

O uso de simulações computacionais é imprescindível para o cálculo de indicadores de consumo de energia de edificações, pois permitem determinar o comportamento térmico e energético das construções (Mendes, 2005). Por conta destes recursos, foi desenvolvida nos EUA, uma série de ferramentas computacionais para os cálculos de desempenho termo-energético, como DOE-2, Radiance e Energy Plus. Este último diferenciado pelo grau de incorporação e metodologia de cálculos sobre a temperatura do ar, iluminação, umidade, ventilação pelas aberturas, entre outros (Leite, 2016).

Basicamente, os softwares de simulação computacional se fundamentam em uma série de informações de entrada fornecidas pelo usuário para realizar suas rotinas de cálculo para balanço energético e fluxo térmico em cada superfície e componente do edifício. Os itens a seguir identificam estes dados:

- **Envoltória do edifício:** a modelagem de um edifício pode ser criada em módulos de construção CAD (*Computer Aided Design*), ou através da inserção de dados por sistema de coordenadas. Vale ressaltar que muitos softwares não possuem módulo de construção CAD, porém realizam a importação de formatos de arquivos de desenho tridimensional desenvolvidos em outras plataformas;

- Composição do edifício: a caracterização da construção é dada pelo detalhamento e propriedades físicas dos materiais externos e internos utilizados na construção, descritos segundo a norma NBR 15520-2/2005;
- Informações de utilização: a descrição dos equipamentos utilizados em um edifício e o perfil de ocupação são regidos pela norma NBR 15575/2013. A modelagem dos sistemas de iluminação se refere à NBR ISO 8995-1/2013 e o sistema de climatização à ASHRAE 90.1;
- Condições externas: são inseridos arquivos externos com dados sobre o perfil dos climas ambientais na região geográfica da edificação.

A metodologia mais utilizada e aceita pela comunidade acadêmica e conselhos de eficiência energética para realização da simulação computacional é baseada no conjunto de softwares SketchUp, OpenStudio e EnergyPlus, os quais possuem funções variadas durante a simulação, ilustradas conforme o diagrama a seguir.

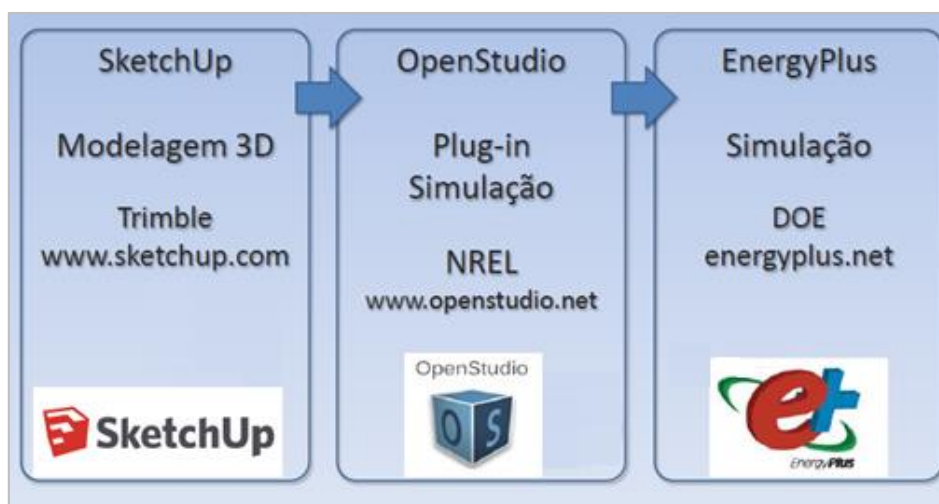


Figura 10 – Diagrama do Uso das Ferramentas Computacionais para Simulação.
Fonte: Simulação Computacional de Desempenho Energético de Edifícios (Leite, 2016).

a) SketchUp

Amplamente utilizado nas simulações termo-energéticas, o SketchUp é um software desenvolvido originalmente pelo Google e atualmente pela Trimble para desenho tridimensional de ambientes. Entre tantas outras plataformas de desenho CAD disponíveis, a grande vantagem desse software é a facilidade na utilização de sua

interface e a capacidade de suportar plug-ins desenvolvidos por terceiros, como é o caso do OpenStudio que será utilizado nesse estudo (NREL, 2015).

Neste estudo de caso, o programa SketchUp foi utilizado para desenho da envoltória do edifício e de todas as suas superfícies internas e externas, as quais foram especificadas e convertidas no formato *input data file* (.idf) com o auxílio do OpenStudio, para serem utilizadas pelo EnergyPlus na simulação de forma integrada do edifício e de seus sistemas.

b) OpenStudio

O OpenStudio é um plugin de extensão, associado ao SketchUp, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos de maneira *open-source* (código aberto), podendo ser alterado e utilizado de maneira livre pelos seus usuários.

O programa tem como objetivo a preparação do modelo desenvolvido no SketchUp para utilização no EnergyPlus, gerando um arquivo de informações a serem carregadas no mesmo. Ainda que por meio do OpenStudio já seja possível realizar uma simulação preliminar do desempenho térmico e consumo energético do edifício, a precisão e capacidade de cálculo desse software é bem inferior ao EnergyPlus (NREL, 2015).

O OpenStudio, por meio da colaboração de desenvolvedores dedicados à causa da sustentabilidade, conta hoje com uma vasta gama de funções, dentre elas:

1. Criação das características dos materiais aplicados na edificação;
2. Descrição das camadas para composição de superfícies;
3. Fragmentação das áreas por zonas térmicas (grupo de ambientes que combinam o uso de um mesmo sistema de climatização);
4. Detalhamento das cargas elétricas da edificação: equipamentos e sistemas de iluminação por zona;
5. Especificação do perfil de ocupação da construção por zona.

Com isso, é possível exportar as informações para o EnergyPlus e complementar com modelos mais complexos de sistemas AVAC, por exemplo, para assim alcançar resultados da performance energética do edifício de modo mais detalhado.

c) EnergyPlus

Também desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, o EnergyPlus foi criado com base em dois programas pioneiros na simulação termoenergética de edifícios: BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) e DOE-2, o primeiro focado em desempenho térmico e o segundo em consumo energético da edificação (DOE, 2013).

Essencialmente, o EnergyPlus executa cálculos numéricos baseados nos princípios fundamentais de balanço de massa e energia (1ª Lei da Termodinâmica) e permite simulações integradas de cargas térmicas e sistemas em regime transiente. As três partes principais da simulação - edifício, sistema e planta - são solucionadas simultaneamente, o que proporciona resultados precisos de temperatura e predição de conforto (Crawley, 2001). Para fornecer o perfil de consumo energético e temperatura de uma edificação durante todo o ano, o EnergyPlus integra uma série de módulos de cálculo para cada ambiente e superfície e, assim, realiza uma simulação completa do balanço de massa e energia.

O programa EnergyPlus trabalha, basicamente, com três módulos: o gerenciador de equilíbrio de calor entre superfícies, de aquecimento do ar e o de simulação dos sistemas construtivos, conforme demonstra o diagrama a seguir.

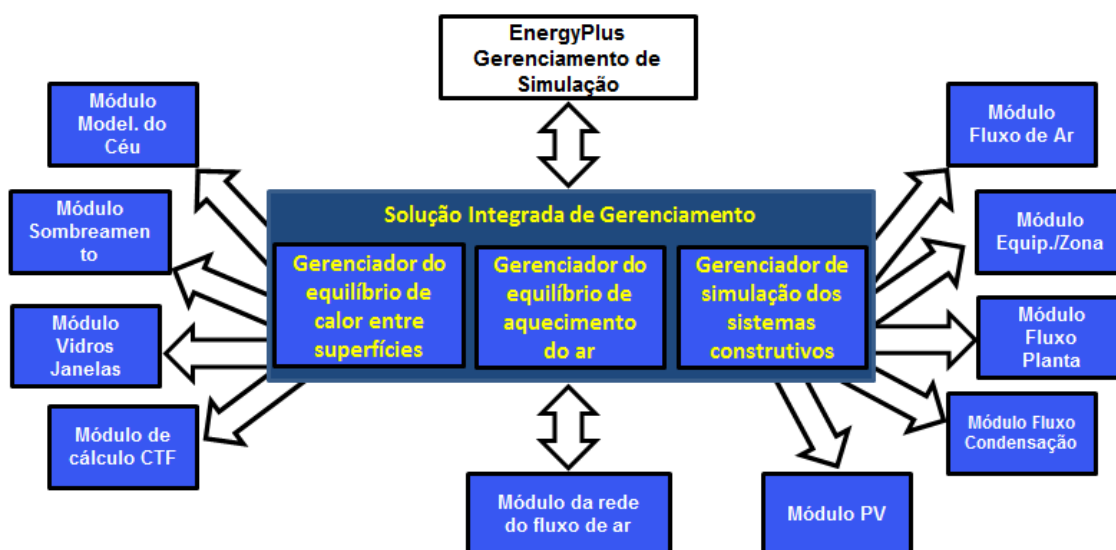


Figura 11 – Gerenciamento de Simulação por Módulos do EnergyPlus.

Fonte: Simulação Computacional de uma Residência visando a Análise do Consumo Energético (Schaedler, 2014).

O gerenciador de equilíbrio de calor entre superfícies e o de aquecimento do ar atua nos módulos de balanço térmico de superfícies e ar, como também como uma interface entre o balanço térmico. Enquanto que, o gerenciador de simulação dos sistemas construtivos encarrega-se da comunicação entre os cálculos de balanço térmico e vários módulos e “circuitos” do sistema de condicionamento de ar (Crawley, 2005).

Para ilustrar o processo de simulação desenvolvido no programa EnergyPlus, a figura 12 apresenta a interface de edição de parâmetros do EnergyPlus.

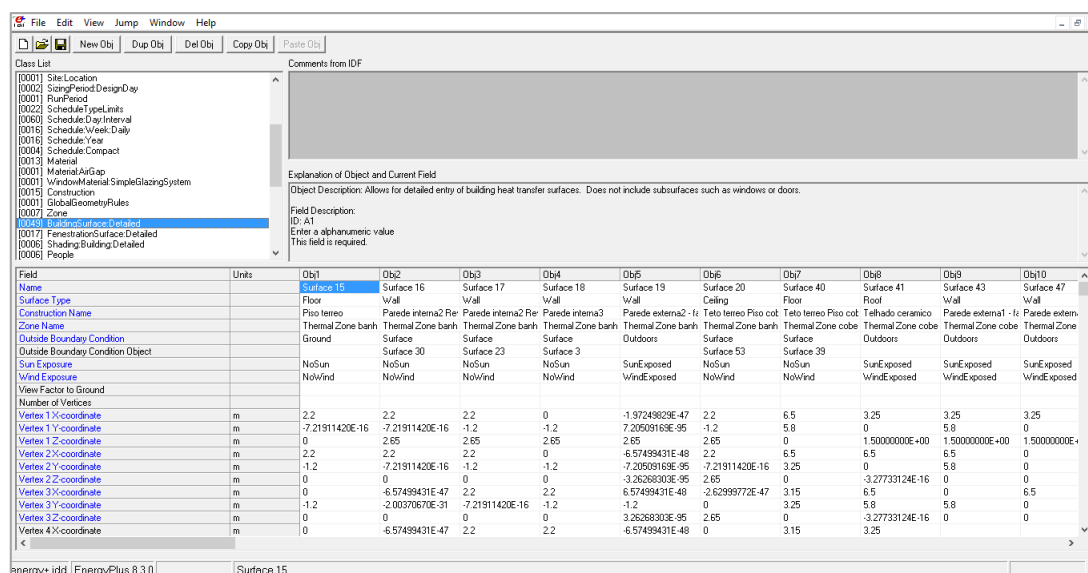


Figura 12 – Interface de Edição de Parâmetros - EnergyPlus.
Fonte: Autoria Própria.

A introdução de ferramentas de simulação computacional tem aumentado cada vez mais em projetos de engenharia e na construção de novos empreendimentos, isso ocorre devido a políticas públicas de incentivo à redução de consumo e ao uso de tecnologia de eficiência energética, aliadas ao crescente poder de publicidade obtido com certificações de conselhos do setor (Carlo, 2008). A seção a seguir apresenta uma variedade de certificações que podem ser aplicadas a edificações correspondente ao nível de desempenho de cada uma em relação a índices e modelos pré-estabelecido.

2.3 CERTIFICAÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O mercado de edificações já conta com uma série de certificações destinadas a comprovar o índice de sustentabilidade e eficiência energética empregada em um empreendimento, entre elas estão: BREEAM, AQUA, HQE, DGNB, Selo Casa Azul,

Selo Procel, PBE-Edifica, sendo as três últimas emitidas por organizações governamentais brasileiras (MMA, 2016).

As certificações são aplicadas de acordo com a tipologia do edifício e variam de acordo com as metodologias e normas técnicas utilizadas, de forma que certas certificações são específicas para determinadas regiões.

Entre todas as certificações, a mais conhecida é o LEED, *Leadership in Energy and Environmental Design*, que é utilizado em mais de 140 países. Essa certificação foi desenvolvida pelo USGBC (*United States Green Building Council*), órgão não governamental que incentiva a sustentabilidade em edifícios norte-americano. A metodologia LEED, independente da edificação aplicada, segue o mesmo padrão: são avaliadas as iniciativas e performance em uma série de dimensões relacionadas à sustentabilidade, somando-se pontos (GBCBrasil – Certificações). O grau de certificação - *LEED Certificate, LEED Silver, Gold ou Platinum* - são obtidos de acordo com a quantidade de pontos alcançados. As dimensões abordadas pelo LEED definidas pelo GBC Brasil conforme a figura a seguir.

Dimensões Avaliadas





-  **Sustainable sites (Espaço Sustentável)** – Encoraja estratégias que minimizam o impacto no ecossistema durante a implantação da edificação e aborda questões fundamentais de grandes centros urbanos, como redução do uso do carro e das ilhas de calor.
-  **Water efficiency (Eficiência do uso da água)** – Promove inovações para o uso racional da água, com foco na redução do consumo de água potável e alternativas de tratamento e reuso dos recursos.
-  **Energy & atmosphere (Energia e Atmosfera)** – Promove eficiência energética nas edificações por meio de estratégias simples e inovadoras, como por exemplo simulações energéticas, medições, comissionamento de sistemas e utilização de equipamentos e sistemas eficientes.
-  **Materials & resources (Materiais e Recursos)** - Encoraja o uso de materiais de baixo impacto ambiental (reciclados, regionais, recicláveis, de reuso, etc.) e reduz a geração de resíduos, além de promover o descarte consciente, desviando o volume de resíduos gerados dos aterros sanitários.
-  **Indoor environmental quality (Qualidade ambiental interna)** – Promove a qualidade ambiental interna do ar, essencial para ambientes com alta permanência de pessoas, com foco na escolha de materiais com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis, controlabilidade de sistemas, conforto térmico e priorização de espaços com vista externa e luz natural.
-  **Innovation in design or innovation in operations (Inovação e Processos)** – Incentiva a busca de conhecimento sobre Green Buildings, assim como, a criação de medidas projetuais não descritas nas categorias do LEED. Pontos de desempenho exemplar estão habilitados para esta categoria.
-  **Regional priority credits (Créditos de Prioridade Regional)** – Incentiva os créditos definidos como prioridade regional para cada país, de acordo com as diferenças ambientais, sociais e econômicas existentes em cada local.. Quatro pontos estão disponíveis para esta categoria.

Figura 13 – Dimensões Avaliadas - Certificação LEED.
Fonte: GBCBrasil Certificações (GBCBrasil, 2016).

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesse trabalho consiste na realização de simulações computacionais termo-energéticas para avaliação do impacto de medidas de eficiência energética na melhoria do conforto térmico e na redução do consumo de uma edificação comercial.

Em um primeiro momento será analisado a edificação atual conforme as características de construção do empreendimento, seu projeto elétrico e arquitetônico.

Em um segundo momento será analisado a edificação proposta, baseada em uma série de parâmetros e soluções passivas de eficiência energética.

3.1 APRESENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

3.1.1 Perfil do Empreendimento

A empresa MGD Eficiência Energética Eireli está sediada à Rua Dona Ana Pimentel, 157, Água Branca, 05002-040, São Paulo – SP.

A MGD é uma ESCO (*Energy Saving Company*), a qual atua com soluções de eficiência energética há mais de 23 anos. Como objetivo a MGD busca oferecer às empresas e à sociedade em geral, um serviço especializado em projetos de eficiência, minimizando custos e maximizando os resultados.

A MGD possui uma ampla experiência em trabalhos já executados com projeto de eficiência energética em sistemas de iluminação, refrigeração, compressão, moto bombas, combustíveis, estação de tratamento, e outros. Entre os projetos já executados pode-se citar a eficientização energética de: escolas, hospitais, indústrias, clínicas médicas, rede de lojas e restaurantes, galpão de logística e distribuição, concessionárias de energia, etc.

Não obstante, a MGD merece uma construção que realmente exemplifique tudo que a atividade representa, dispondo de um espaço físico que estimule a redução de consumo de energia e traga a sensação de bem-estar, promovendo saúde e melhoria na qualidade de vida de seus ocupantes. A figura 14 apresenta uma foto da edificação em estudo.



Figura 14 – Edifício MGD Eficiência Energética.
Fonte: Autoria Própria.

3.1.2 Descrição Geral do Edifício

O prédio sede da empresa MGD totaliza cerca de 310 m² e conta com três pavimentos – distribuídos entre escritórios, sala de treinamento, cozinha e área de escada, conforme ilustra a figura 15 a seguir.

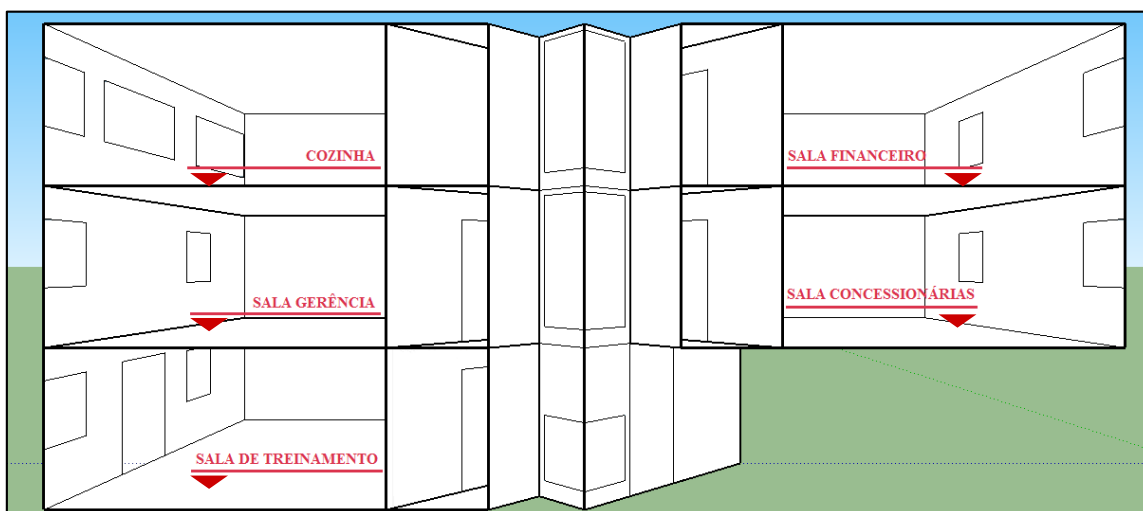


Figura 15 – Corte Transversal do Edifício.
Fonte: Autoria Própria.

3.1.3 Informações de Cálculo Comuns entre as Edificações

Alguns parâmetros de entrada são comuns entre as edificações estudadas. Entre esses parâmetros encontram-se a potência dos equipamentos, o sistema de climatização,

a taxa de ocupação do edifício, o perfil de uso dos sistemas, e o arquivo climático referente à localização do edifício. A tabela 01 a seguir apresenta estas informações.

Dados dos Sistemas	Descrição		
	Equipamento	Quantidade	Potência
Equipamentos	Computador	14	150W
	Geladeira	1	80W
	Impressora	1	70W
	Televisão	1	80W
Sistema de Climatização	O sistema de ar condicionado do edifício é do tipo Split, e é instalado apenas nos três de ambientes de escritório - Concessionárias, Gerência e Financeiro.		
Ocupação	A taxa de ocupação se dá de acordo com o quadro atual de colaboradores da empresa – 12 funcionários – e com a capacidade de cada sala, vide especificação abaixo. 05-Sala Concessionárias 05-Sala Gerência 02-Sala Financeiro		
Programação de Uso	O perfil de uso do edifício baseia-se no tempo de operação da empresa. De segunda à sexta-feira, das 8:00 às 18:00 horas.		
Arquivo Climático	O arquivo climático aplicado para a simulação do edifício é o BRA_Sao.Paulo-Congonhas.837800_SWERA.epw . Fonte: U.S. DOE (<i>Department of Energy</i>)		

Tabela 01 – Informações de Cálculo.
Fonte: Autoria Própria.

3.2 EDIFICAÇÃO ATUAL

3.2.1 Modelo Geométrico

O modelo geométrico da edificação atual utilizado nas simulações foi desenvolvido utilizando a ferramenta computacional SketchUp 15.3.331. A edificação foi modelada respeitando a separação de zonas térmicas existentes no projeto, conforme exigido pelo Apêndice G da ASHRAE 90.1.

A Figura 16 apresenta o modelo geométrico e a tabela 02 representa a divisão estabelecida dos principais ambientes - zonas térmicas.

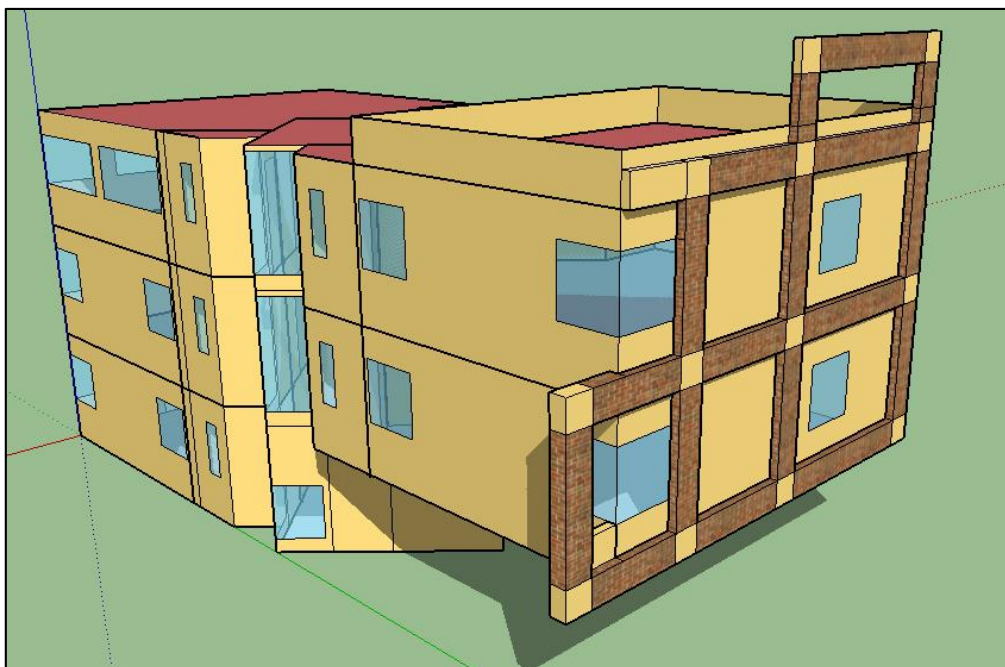


Figura 16 – Modelo Geométrico do Edifício Atual.
Fonte: Autoria Própria.

Zona Térmica	Área [m²]
Cozinha	52,0
Sala Concessionárias	52,0
Sala Financeiro	52,0
Sala Gerência	52,0
Sala de Treinamento	52,0
Escada	31,2
Banheiro 10 unidades	2,1

Tabela 02 – Divisão de Zonas Térmica do Modelo Geométrico.
Fonte: Autoria Própria.

3.2.2 Envoltória da Edificação

Para a envoltória da edificação atual, foram considerado os parâmetros dos elementos construtivos de acordo com as especificações do projeto arquitetônico do empreendimento. Os dados destes elementos foram inseridos na simulação por meio do software Open Studio 1.8.0.

As tabelas 03, 04 e 05 a seguir apresentam a lista de materiais do edifício, assim como suas camadas constituintes e respectivas propriedades térmicas.

Elemento Construtivo	Camada
Janela	Vidro Comum
Parede Externa	Textura, Bloco Cerâmico
Parede Interna	Bloco Cerâmico
Piso	Laje de Concreto, Argamassa, Cerâmica
Porta Externa	Vidro Temperado
Porta Interna	Madeira
Teto Concreto	Textura, Laje de Concreto, Fibra Mineral
Teto Vidro	Vidro Temperado
Teto Vidro e Fibra	Vidro Temperado, Camada de Ar, Fibra Mineral

Tabela 03 – Elementos Construtivos do Edifício - Edifício Atual.

Fonte: Projeto Arquitetônico MGD Eficiência Energética.

Material	Espessura [m]	Condutividade Térmica [W/mK]	Densidade [kg/m³]	Calor Específico [J/kgK]	Absortância Solar [α]	Emissividade [ε]
Textura Acrílica	0,010	0,400	1300	1000	0,700	0,850
Bloco Cerâmico	0,100	0,900	1500	920	0,700	0,850
Argamassa	0,005	1,150	2000	1000	0,700	0,850
Cerâmica	0,005	0,900	1500	920	0,200	0,850
Laje de Concreto	0,100	1,750	2300	1000	0,700	0,850
Madeira	0,025	0,150	500	1340	0,900	0,850
Fibra de Mineral	0,013	0,055	300	760	0,700	0,850

Tabela 04 – Propriedade Térmica dos Materiais - Edifício Atual.

Fonte: USP - Simulação Computacional de Desempenho Energético de Edifícios: Propriedades Térmicas (Leite, 2016).

Material	Fator Solar	Transmitância Térmica [W/m²K]
Vidro Comum	0,860	5,780
Vidro Temperado	0,500	5,600

Tabela 05 – Propriedade Térmica do Vidro - Edifício Atual.

Fonte: USP - Simulação Computacional de Desempenho Energético de Edifícios: Propriedades Térmicas (Leite, 2016).

3.2.3 Sistema de Iluminação

Em sua totalidade, o sistema de iluminação atual possui tecnologia LED. A tabela 06 a seguir apresenta a potência por ambiente dada em termos de Densidade de Potência Instalada (DPI), em watts por metro quadrado [W/m²].

Ambiente	DPI [W/m²]
Cozinha	9,96
Escritório Concessionárias	9,96
Escritório Financeiro	9,96
Escritório Gerência	9,96
Sala de Treinamento	9,96
Escada	31,2
Banheiro 10 unidades	10,7

Tabela 06 – Sistema de Iluminação - Edifício Atual.

Fonte: Aatoria Própria.

3.3 EDIFICAÇÃO PROPOSTA

Com intenção de proporcionar redução de consumo energético e melhoria de conforto térmico, no modelo da edificação proposta, uma série de medidas de eficiência energética foi aplicada na concepção dos projetos de envoltória e iluminação, relacionadas conforme a tabela a seguir.

Envoltória	Área de Vidro
	Tipo de Vidro
	Composição das Paredes
	Cor do Telhado
	Sombreamento
Iluminação	Controle e Automação
	Iluminação Natural

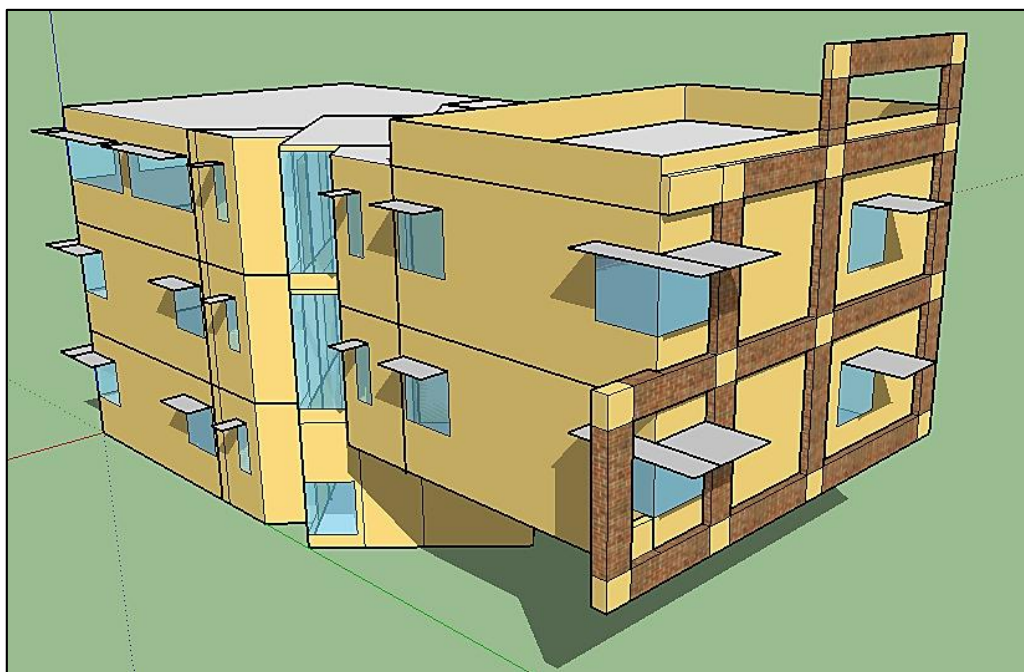
Tabela 07 – Relação de Medidas de Eficiência Energética Propostas .

Fonte: Aatoria Própria.

As próximas seções apresentam o modelo geométrico proposto, bem como as medidas de eficiência energética aplicadas na simulação.

3.3.1 Modelo Geométrico

Utilizando a base do modelo geométrico desenvolvido conforme descrito na seção 3.2, configuraram-se os parâmetros dos novos elementos construtivos da envoltória na ferramenta computacional SketchUp 15.3.331 em conjunto com o plugin do Open Studio 1.8.0. A figura 17 a seguir ilustra a modelagem do edifício proposto.



**Figura 17 – Modelo Geométrico do Edifício Proposto.
Fonte: Autoria Própria.**

3.3.2 Envoltória da Edificação

Para a envoltória da edificação, os parâmetros dos elementos construtivos da envoltória foram determinados baseando-se na Tabela 5.5-2 da ASHRAE 90.1, conforme possibilidade de adaptação do sistema atual. Os itens a seguir apresentam os parâmetros dos elementos construtivos da envoltória utilizados na edificação proposta.

a) Área de Vidro

No projeto atual o telhado que cobre as áreas da escada e da cozinha é constituído de vidro o que penaliza significativamente o conforto térmico proporcionado pela edificação. Estudou-se, portanto, a construção de laje de concreto para acabamento destas áreas.

A figura 18 a seguir ilustra a comparação do edifício atual com o proposto referente à área de vidro do teto da escada.



Figura 18 – Área de Vidro: Sistema Atual *versus* Proposto.
Fonte: Autoria Própria.

a) Tipo de Vidro

A edificação atual possui aproximadamente 20% de área de janela. Em função disso, é importante que a mesma apresente elementos construtivos com baixos índices de ganho de calor, isto é, com baixa capacidade de transmissão de calor para o ambiente.

A figura 19 a seguir, apresenta as propriedades térmicas do vidro do sistema atual em comparação a do sistema proposto.

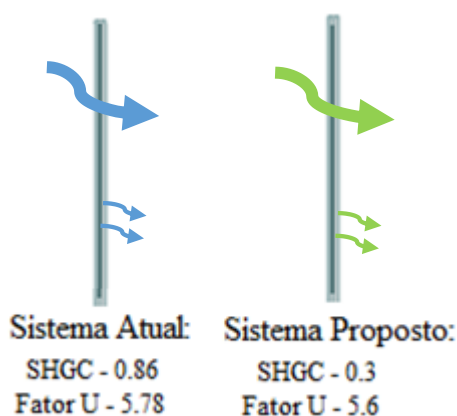


Figura 19 – Tipo de Vidro: Sistema Atual *versus* Proposto.
Fonte: Autoria Própria.

Nota-se que as propriedades térmicas do vidro proposto para a edificação possuem menor coeficiente de ganho de calor e de fator U que o da edificação atual.

Espera-se, assim, que a capacidade do vidro em transmitir calor para o ambiente por radiação e por condução seja menor.

b) Composição das Paredes

Superfícies opacas também possuem um valor de fator U, e a indicação deste coeficiente sobre a superfície de uma fachada determina a capacidade da edificação em perder ou ganhar calor.

O edifício da empresa MGD apresenta em sua composição atual apenas a camada de bloco cerâmico combinado a uma textura, constituindo assim um fator U de 2,6, conforme indicado na figura 20 a seguir.

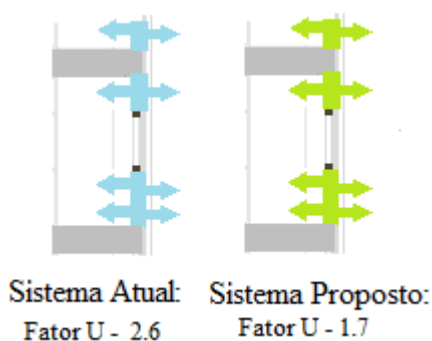


Figura 20 – Composição das Paredes: Sistema Atual versus Proposto.
Fonte: Autoria Própria.

Tendo em vista que é possível atingir um melhor valor de fator U com a adição de gesso às paredes internas e externas, foi considerado para o sistema proposto a composição das paredes a partir da combinação de bloco cerâmico e gesso, com um valor de fator U correspondente a 1,7. Desse modo, espera-se que o isolamento da edificação seja superior, aumentando conforto térmico e reduzindo o consumo de energia relacionado ao sistema de AVAC.

c) Cor do Telhado

O telhado transmite expressiva quantidade de calor a ambientes internos devido ao calor que absorve da radiação solar. Coberturas escuras absorvem 80% do calor externo, enquanto que às claras refletem até 90% da luz solar (Schmitz Feijó, 2016).

A pintura do telhado na cor branca, aplicada na edificação proposta, visa melhorar o desempenho térmico da construção, ao proporcionar a redução da temperatura do telhado, devido à menor absorção externa da irradiação solar pelo teto. A figura 21 a seguir representa a reflexão do telhado do edifício proposto.

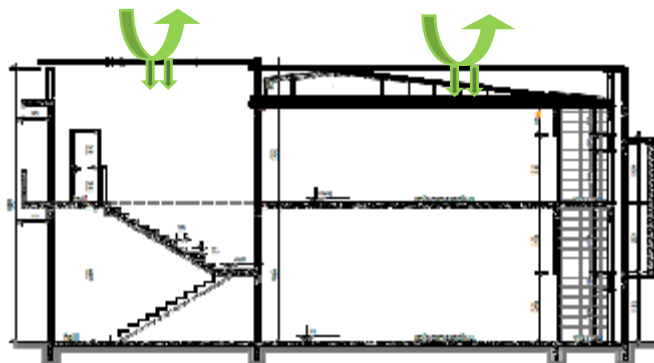


Figura 21 – Reflexão do Telhado - Edifício Proposto.
Fonte: Autoria Própria.

d) Sombreamento

A aplicação de sombreamento em um edifício reduz a incidência de radiação solar nos ambientes, proporciona conforto visual e térmico para os ocupantes e, ainda, economia no uso de climatizadores. Por essa função, foi estudado a inclusão de brises horizontais na fachada norte com fator de correção de 1.0, e nas fachadas sul e leste de 0.5, instalados conforme demonstrado na figura 22 a seguir.

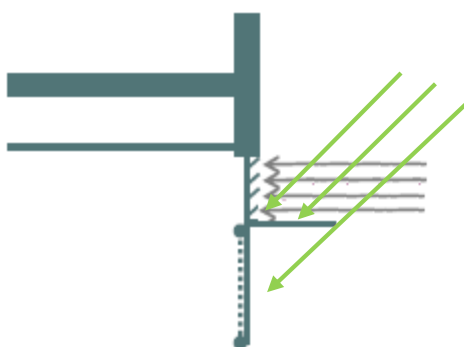


Figura 22 – Sombreamento: Brises Horizontais - Edifício Proposto.
Fonte: Autoria Própria.

3.3.3 Sistema de Iluminação

Para o sistema de iluminação, foi avaliada a implantação de duas medidas, a de aplicação de sistemas de controle e automação, bem como a de aplicação um sistema de controle iluminação natural.

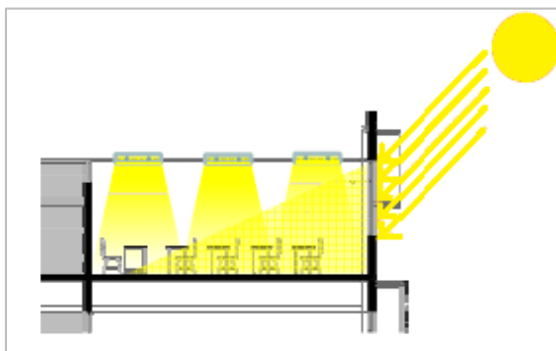
a) Sistema de Controle e Automação

Para promover eficiência ao sistema de iluminação, foi estudado a integração de recursos de controle e automação associados à iluminação. Em função disso, a fim de proporcionar eficiência operacional e otimização da economia de energia, foram aplicados à simulação: a instalação de sensores de presença para controle de iluminação nas áreas de escada e banheiros, e o estabelecimento de *set points* para desligamento do sistema de iluminação durante períodos de almoço dos colaboradores da empresa, e após término do expediente.

b) Iluminação Natural

Também, com interesse de proporcionar eficiência ao sistema de iluminação, foi projetado um sistema de integração da iluminação artificial à iluminação natural. Este sistema de aproveitamento da iluminação natural foi realizado a partir da utilização de sensores interligados ao sistema de iluminação, que ligam e dimerizam as luminárias próximas às áreas de janela, reduzindo o consumo de energia.

A figura 23 a seguir ilustra o potencial de aproveitamento de iluminação natural próximo a áreas de janela.



**Figura 23 – Sistema de Iluminação Natural - Edifício Proposto.
Fonte: Autoria Própria.**

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de obter os resultados desejados foram realizadas duas diferentes simulações no software EnergyPlus v.8.1. A primeira simulação foi baseada nos parâmetros da Edificação Atual – apresentados na Seção 3.2.

A segunda simulação adicionou à anterior as medidas de eficiência energética aplicadas à envoltória e ao sistema de iluminação da Edificação Proposta – apresentados na Seção 3.3.

As duas simulações serão discutidas a seguir em duas diferentes análises, a primeira avaliará cada simulação de acordo com o conforto térmico de cada ambiente, e a segunda de acordo com o consumo energético do edifício.

4.1 SIMULAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

Estudos de conforto térmico visam analisar as condições térmicas de um ambiente com propósito de avaliar se este proporciona uma faixa de temperatura adequada à ocupação humana e às atividades ali exercidas.

Dessa forma, para verificação de conforto térmico deste estudo, serão avaliadas a seguir as temperaturas encontradas em cada zona de modo compará-las à faixa ideal de conforto para edifícios comerciais, de 21 a 27°C.

4.1.1 Edificação Atual

Em um primeiro momento, foram inseridas no software as propriedades e condições atuais da edificação, conforme mencionado na metodologia acima, e a simulação foi executada.

As figuras a seguir apresentam o mapa de conforto térmico gerado para os principais ambientes do edifício em duas situações: em um dia típico de verão e outro de inverno.

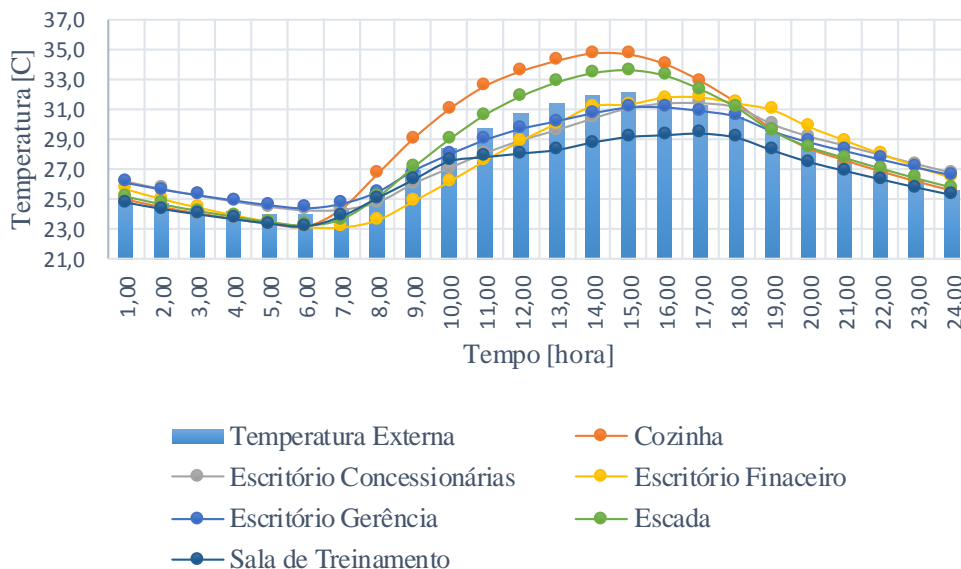


Figura 24 – Mapa de Conforto Térmico - Edifício Atual: Verão.
Fonte: Autoria Própria.

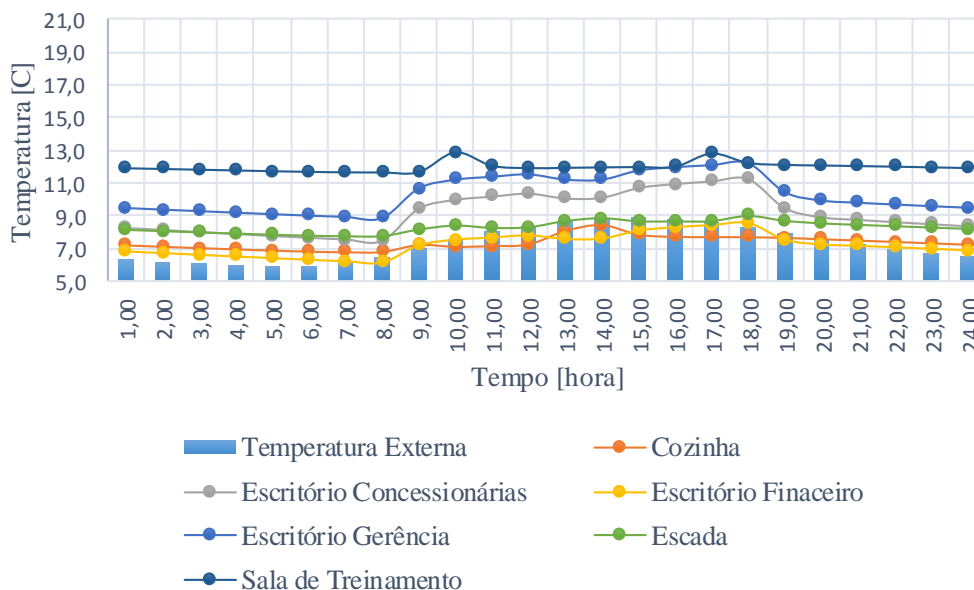


Figura 25 – Mapa de Conforto Térmico - Edifício Atual: Inverno.
Fonte: Autoria Própria.

Como é possível verificar, o perfil térmico da zona bioclimática analisada (São Paulo, Congonhas) é mais estável no período do inverno, ao passo que no verão tem-se um pico intenso durante o início da tarde.

Nesta avaliação, os ambientes da Cozinha e da Escada demonstram estar mais expostos às temperaturas externas, não atingindo os níveis necessários de conforto térmico. Ambos os ambientes não contam com sistemas de climatização e possuem

grandes áreas de vidro como cobertura o que prejudica significativamente o alcance de índices adequados de temperatura.

Enquanto que, os ambientes de escritório, mesmo com ar condicionado, apresentam temperaturas média elevadas, neste caso, principalmente devido a grande concentração de pessoas e equipamentos no ambiente e, também, a relevante representatividade de áreas de vidro.

A contribuição para carga térmica total das principais fontes presentes na edificação também foi calculada conforme abaixo:

	Pessoas	Iluminação	Equipamento Elétrico	Janela
Verão	21.264,8	15.677,0	27.307,5	130.154,6
Inverno	21.264,8	15.677,0	27.307,5	0,0
Valor Médio	21.264,8	15.677,0	27.307,5	65.077,3

Tabela 08 – Mapa de Carga Térmica Diária [W] - Edifício Atual.
Fonte: Autoria Própria.

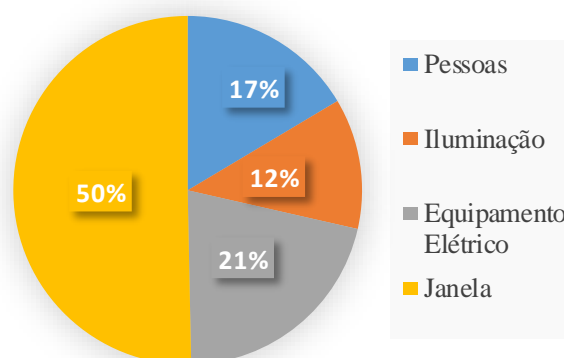


Figura 26 – Mapa de Carga Térmica - Edifício Atual.
Fonte: Autoria Própria.

É possível notar a elevada carga térmica das janelas no verão, correspondente a 66% do total no período, o que diminui o conforto térmico e aumenta o consumo energético com refrigeração. A eficiência nessa troca térmica porém, pode ser trabalhada por meio de medidas de eficiência energética com intenção de proporcionar melhoria no equilíbrio térmico e reduzir o consumo do sistema de climatização. A simulação computacional com tais medidas foi realizada e os resultados estão expostos a seguir para comparação.

4.1.2 Edificação Proposta com Medidas de Eficiência Energética

O desempenho térmico atual deste empreendimento demonstrou diversas possibilidades de redução de consumo, dentre elas as maiores oportunidades de melhoria se encontravam nas janelas do edifício. Para isso foram implementados brises horizontais nas janelas e substituído os vidros das mesmas por um material com menor coeficiente de ganho de calor. Ainda, foram alterados os vidros das portas externas pelo mesmo material das novas janelas, bem como reduzido as áreas de vidro na construção da cobertura, adicionado gesso as paredes e aplicado tinta de cor clara no telhado.

As figuras a seguir apresentam os resultados obtidos em relação ao conforto térmico dos ambientes após a inclusão das medidas de eficiência energética detalhadas na seção 3.3.

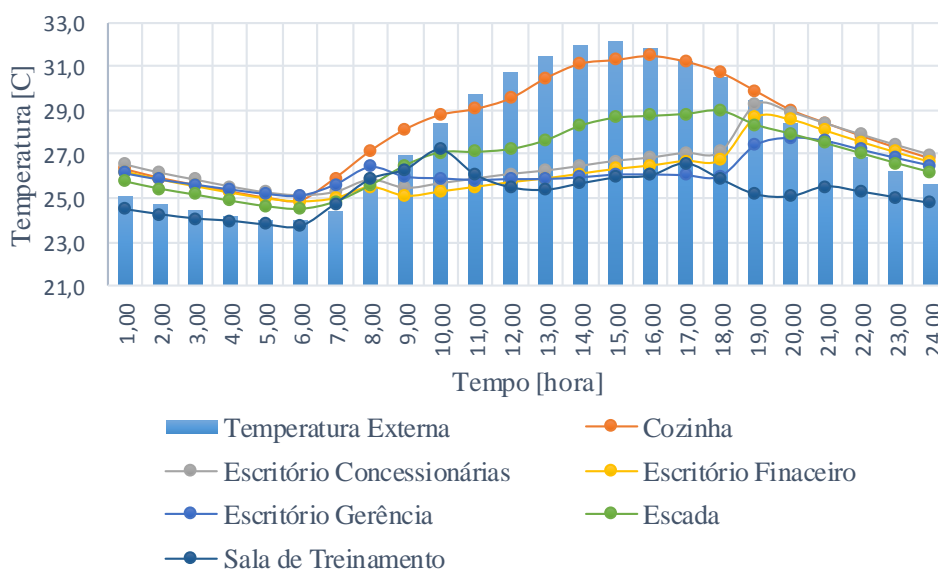


Figura 27 – Mapa de Conforto Térmico - Edifício Proposto: Verão.
Fonte: Autoria Própria.

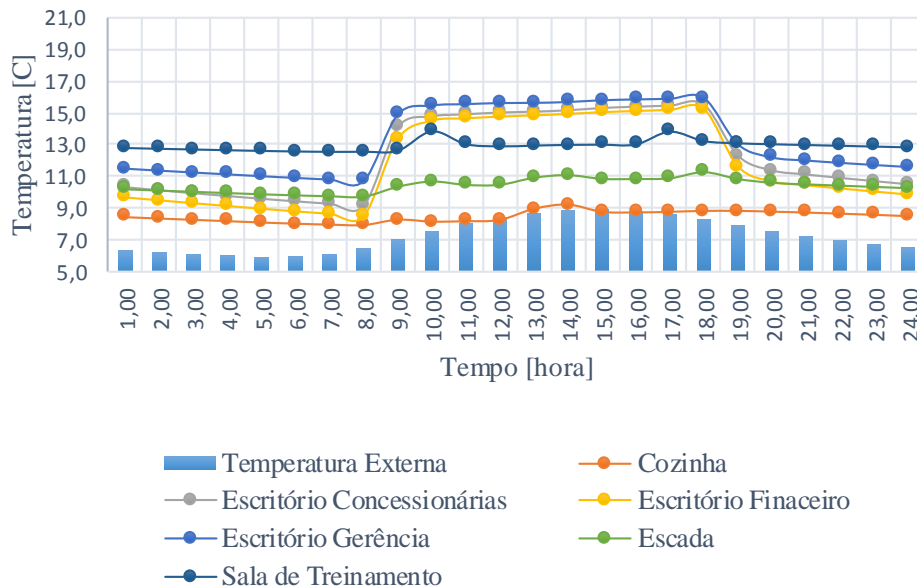


Figura 28 – Mapa de Conforto Térmico - Edifício Proposto: Inverno.
Fonte: Autoria Própria.

Em função das alterações mencionadas acima, pode-se observar nas figuras a redução da temperatura média dos ambientes no verão e aumento no inverno, ficando mais próximas ao conforto ideal.

O mesmo efeito é observado no cálculo da carga térmica total da janela da edificação, que diminuiu cerca de 83 kW, redução de aproximadamente 64%.

	Pessoas	Iluminação	Equipamento Elétrico	Janela
Verão	21.264,8	12.633,1	27.307,5	47.432,1
Inverno	21.264,8	12.633,1	27.307,5	0,1
Valor Médio	21.264,8	12.633,1	27.307,5	23.716,1

Tabela 09 – Mapa de Carga Térmica Diária [W] - Edifício Proposto.
Fonte: Autoria Própria.

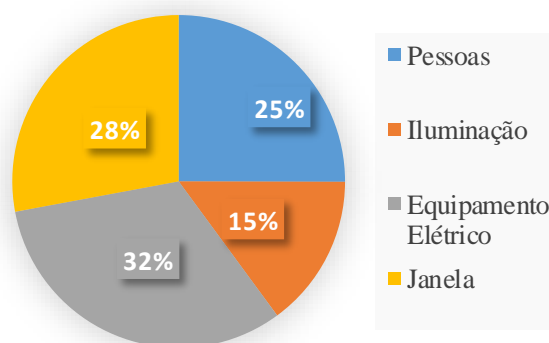


Figura 29 – Mapa de Carga Térmica - Edifício Proposto.
Fonte: Autoria Própria.

Nota-se, também, a redução de carga térmica referente à iluminação, isto se deve a implantação de sistemas de controle e automação neste uso final, os quais proporcionaram redução de consumo e, conseqüentemente, redução de carga térmica do sistema.

4.2 SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO DE CONSUMO ENERGÉTICO

Reduções de consumo energético de edificações estão diretamente relacionadas com a promoção do conforto térmico das mesmas. Este fato ocorre devido à diminuição direta de custos relacionados à refrigeração quando se é aplicado medidas de eficiência energética na envolvente do edifício objetivando promover equilíbrio térmico adequado aos ambientes.

Assim, como será apresentado a seguir, é possível analisar o efeito da efficientização dos sistemas de envoltória em relação à demanda de energia da edificação proposta se comparada à edificação atual. Bem como, é possível identificar a redução de demanda de energia referente aos sistemas de iluminação devido à implantação de sistemas de controle conforme abordado na seção 3.3 deste trabalho.

4.2.1 Edificação Atual

De maneira similar ao realizado na análise do desempenho térmico, foram elaboradas simulações para avaliação do consumo energético na condição atual e com as modificações propostas. O estudo foi desenvolvido por tipo de usos finais, divididos em: sistemas de iluminação, equipamentos elétricos e climatização.

Na tabela a seguir encontram-se os índices para a situação atual do edifício, demonstrando a relevância de projetos que otimizem a eficiência do sistema de ar condicionado e de iluminação.

Sistema	Consumo [kWh/ano]	Representatividade
Iluminação	4.091,7	22%
Equipamentos Elétricos	7.127,3	39%
Ar condicionado	7.280,0	39%
Total	18.499,0	

**Tabela 10 – Consumo de Energia Anual - Edifício Atual.
Fonte: Autoria Própria.**

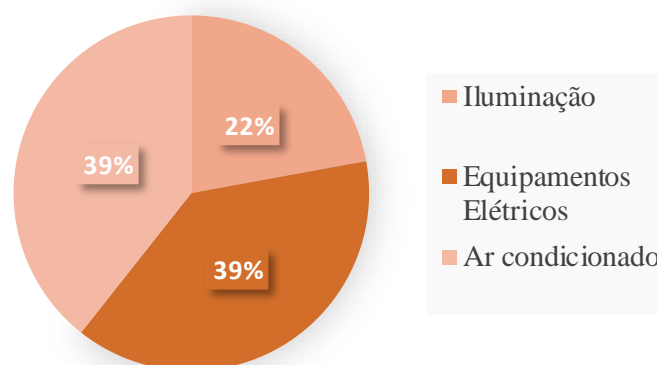


Figura 30 – Mapa de Consumo Energético - Edifício Atual.
Fonte: Autoria Própria.

Observa-se que a proporção de consumo energético devido ao ar condicionado - a qual geralmente representa mais da metade do consumo total de um edifício - praticamente se iguala ao consumo dos equipamentos elétricos. Isto deve-se ao fato de que, neste edifício, os sistemas de climatização estão instalados em apenas 50% da edificação, portanto não impactam significativamente no consumo. Por outro lado, isto não interfere no fato de que medidas relacionadas a climatização podem representar potenciais oportunidades de redução de consumo, conforme pode-se verificar no item a seguir.

4.2.2 Edificação Proposta com Medidas de Eficiência Energética

A partir da implantação das medidas propostas na seção 3.3, a tabela e gráfico a seguir apresentam o consumo em kWh anual por sistema e a representatividade de cada um em relação ao consumo total do edifício.

Sistema	Consumo [kWh/ano]	Representatividade
Iluminação	3.297,20	23%
Equipamentos Elétricos	7.127,30	49%
Ar Condicionado	4.140,99	28%
Total	14.565,50	

Tabela 11 – Consumo de Energia Anual - Edifício Proposto.
Fonte: Autoria Própria.

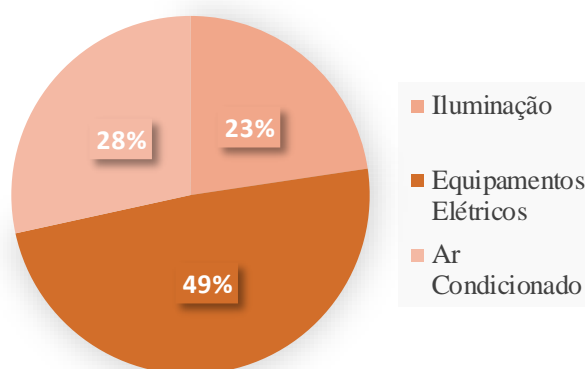


Figura 31 – Mapa de Consumo Energético - Edifício Proposto.
Fonte: Autoria Própria.

Percebe-se que o impacto do ar condicionado se tornou ainda menor devido à implantação dos parâmetros de eficiência energética - efetivamente, este sistema apresentou redução de 48% do seu consumo. Afirmando, assim, que o desempenho energético de edificações responde diretamente à aplicação de medidas passivas que visam conforto térmico.

Enquanto que, as medidas propostas de controle e automação do sistema de iluminação, com implementação de sensores de presença e aproveitamento de iluminação natural, ocasionaram também relevante redução de demanda de energia elétrica, 24% no consumo por este uso final.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste projeto foi avaliar a performance energética, térmica e lumínica do edifício da empresa MGD Eficiência Energética e, demonstrar através da utilização de ferramentas computacionais a análise de oportunidades de redução de consumo e aumento de conforto térmico. Visto a área de atuação do empreendimento estudado, o espaço físico que representa a sede deste necessita ser extremamente funcional e eficiente, além de inevitavelmente pela função que representa, para servir como exemplo a seus clientes e parceiros.

A maior parte das edificações residenciais, comerciais e industriais possui uma série de oportunidades para se tornarem mais eficientes energeticamente, e as ferramentas computacionais EnergyPlus e SketchUp (com o plugin OpenStudio), utilizadas nesse trabalho, se mostraram eficientes no diagnóstico e avaliação da performance térmica e energética da edificação.

O diagnóstico da situação atual do prédio estudado permitiu identificar de forma precisa diversas melhorias que foram analisadas no ambiente de simulação. Com os resultados obtidos neste estudo, constata-se que a aplicação de medidas de eficiência energética é capaz de reduzir significativamente o consumo de energia elétrica, bem como aumentar consideravelmente o conforto térmico de um ambiente.

Durante as simulações, a temperatura dos ambientes internos durante o verão caiu cerca de 2,4°C e no inverno aumentou 1,7°C, ficando mais próxima da faixa de conforto ideal (21°C a 27°C). A carga térmica emitida pelas janelas, maior problema identificado pela simulação diagnóstica, foi reduzida em 64%. Enquanto que, o consumo energético total diminuiu em 23%, em grande parte impulsionado pela menor necessidade de gastos com climatização após adequação do desempenho térmico, que representou cerca de 80% do total de 3,9 MWh economizados.

Á caráter representativo, considerando o custo médio para instalação das medidas propostas neste projeto estimado em R\$ 35.900,00 e, considerando a tarifa atual de energia elétrica do empreendimento analisado de R\$ 0,53/kWh, o custo anual referente à energia elétrica reduzirá de R\$ 9.811,50 para R\$ 7.719,71 após implantação das medidas de eficiência energética, e o tempo de retorno do investimento (payback simples) será de cerca de 16 anos.

De modo geral, conclui-se que as simulações computacionais de eficiência termo-energética já são uma técnica viável e eficaz, e que, portanto, devem ocupar espaço cada vez maior no mercado de projetos elétricos e estruturais.

Como sugestão para estudos adicionais, podem ser elencados análises financeiras de viabilidade econômica da aplicação de cada medida de eficiência energética deste estudo. Assim como, podem ser considerados análises de aplicação de medidas de cogeração de energia, como instalação de painéis fotovoltaicos integrados a rede, e de eficiência no consumo de água, como em sistemas de armazenamento pluvial e reuso da água, visto que estas medidas apresentam potencial significativo para estudos de eficiência energética e que também podem ser analisadas no ambiente de simulação computacional EnergyPlus.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações*. (2005). Rio de Janeiro.
- ABNT. (2013). *NBR ISO 8995-1: Norma de Iluminação de Ambientes*. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Arquitetura e Energia*. (s.d.). Acesso em 30 de Outubro de 2016, disponível em Porta de Eficiência Energética: <http://www.arquiteturayenergia.c/home/>
- ASHRAE. (2007). *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*. ASHRAE 90.1: Energy Standard for Buildings Except Low Rise Residential Buildings.
- Beltram, L. (2015). *Simulação Computacional do Desempenho Energético de uma Edificação Comercial*. Porto Alegre: Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica) - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Beyer, P. (2011). *Apostila de Conforto Térmico*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Buratti, C. e. (2013). "Unsteady simulation of energy performance and thermal comfort in non-residential buildings.". *Building and Environment*, pp. 482-491.
- Carlo, J. C. (2008). Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais.
- Crawley, D. B. (2001). EnergyPlus: Creating a New-Generation Building Energy Simulation Program. . Em *Energy and Buildings* 33.4 (pp. 319-331).
- Crawley, D. B. (2005). *EnergyPlus: Creating a New-Generation Building Energy Simulation Program*.
- DOE - Department of Energy. (Outubro de 2008). *Energy Efficiency Trends in Residential and Commercial Buildings*.
- DOE. (2013). *EnergyPlus Version 8.6 Documentation: Getting Started*. US Department of Energy.
- DOE. (2015). Energy Plus v. 8.3. *Department of Energy*. .
- Eletrobras, P. . (2007). *Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa Setor Comercial*.
- Fernandes, A. E. (2001). As Torres Envidraçadas e o Consumo Energético . *II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído* . Canela, RS.
- Filippín, C. a. (2007). Energy Efficiency, Recovery and Storage. Em *Energy Efficiency in Buildings* (pp. 223-245).

- França, F. (s.d.). *Controle Térmico de Ambiente*. Acesso em 28 de Outubro de 2016, disponível em http://www.fem.unicamp.br/~em672/Ciclo_Refrigeracao_Refrigerantes.doc
- GBCBrasil - *Certificações*. (s.d.). Acesso em 25 de Setembro de 2016, disponível em GBCBrasil - Green Building Council Brasil: <<http://www.gbcbrasil.org.br>>
- IEA. (2015). *Building Energy Performance Metrics*. International Energy Agency.
- IEA. (s.d.). *Energy Efficiency Indicators*. International Energy Agency.
- IEO. (2016). *International Energy Outlook* . U.S. Energy Information Administration.
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (7th Edition ed.).
- Lamberts, R. (2015). *Eficiência Energética em Edificações*.
- Lamberts, R. (s.d.). *Desempenho Térmico de Edificações*. (Apostila) . Universidade Federal de Santa Catarina.
- Leite, B. (2016). *Simulação Computacional de Desempenho Energético de Edifícios: Propriedades Térmicas*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Civil.
- Marinoski, D. (2005). *Aperfeiçoamento de um Sistema de Medição de Ganho de Calor Solar através de Aberturas*. Florianópolis: Tese. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Mendes, N. e. (2005). Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. *Ambiente Construído* 5.4.
- MMA. (2016). *Curso para o Setor Público: Etiquetagem de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (Etiqueta PBE Edifica)*. Ministério do Meio Ambiente.
- NBR ISO 8995-1: Requisito de Sistemas de Iluminação*. (2013). ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas .
- NREL. (2015). *NREL - National Renewable Energy Laboratory. Open Studio v. 1.8.0*.
- Ordenes, M., & Lamberts, R. (2008). *Transferência de Calor na Envolvente da Edificação*. Florianópolis: Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina.
- PROCEL. (2005). *Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial*. Rio de Janeiro: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.
- PROCEL. (2011). *Manual Prático de Ar Condicionado*. Rio de Janeiro.
- Projeto Arquitetônico MGD Eficiência Energética*. (s.d.).
- Projeto Luminotécnico MGD Eficiência Energética*. (s.d.).
- Projeto Mecânico MGD Eficiência Energética*. (s.d.).

- Schaedler, L. (2014). *Simulação Computacional de uma Residência visando a Análise do Consumo Energético*. Horizontina: FAHOR - Faculdade Horizontina.
- Schmitz Feijó, C. (2016). *Transmissão de Calor dos Telhados*. Rio Grande do Sul: Ecotelhado.
- Simon Westphal, F., & Lamberts, R. (2006). *Curso: Introdução ao Energy Plus*. Florianópolis: LabEEE Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Sola, A., & Kovaleski, J. (2004). Eficiência Energética nas Indústrias: Cenários e Oportunidades. *XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Florianópolis, SC.
- Strand, R. K. (2001). Modularization and Simulation Techniques for Heat Balance based Energy and Load Calculation Programs: the experience of the ASHRAE Loads Toolkit and Energyplus. *Seventh International IBPSA Conference*, (pp. 43-50). Rio de Janeiro.
- (2015). *United Nations*. New York: World Population Prospectives: The 2015 Revision.
- Veloso, M. D., & Elali, G. A. (2004). *Uma Avaliação de Eficiência Energética em Edificações Hoteleiras em Natal - RN*. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGAU-UFRN) .