

**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia**

**AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA
FACULDADE DE EDUCAÇÃO - UNB BASEADAS EM
SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS NO SOFTWARE
DESIGN BUILDER**

**Autor: Gabriel Tavares da Silva
Orientador: Prof. Loana Nunes Velasco**

**Brasília, DF
2023**



GABRIEL TAVARES DA SILVA

**AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA FACULDADE DE EDUCAÇÃO - UNB
BASEADAS EM SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS NO SOFTWARE DESIGN
BUILDER**

Monografia submetida ao curso de graduação em engenharia de energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em engenharia de energia.

Orientador: Prof. Dra. Loana Nunes Velasco

**Brasília, DF
2023**



**AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA FACULDADE DE EDUCAÇÃO - UNB
BASEADAS EM SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS NO SOFTWARE DESIGN
BUILDER**

GABRIEL TAVARES DA SILVA

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em engenharia de energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 14/12/2023 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dra.: Loana Nunes Velasco, UnB/ FGA
Orientador

Prof. Dr: Alex Reis, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof. Dr. Rudi Henri Van Els, UnB/ FGA
Membro Convidado

Brasília, DF
2023

“No fim, tudo dá certo, e se não deu certo
é porque não chegou ao fim.”

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus e minha família por me guiar e proporcionar as oportunidades necessárias para alcançar essa etapa importante da minha jornada acadêmica e terem sido meu pilar de apoio e o motivo pelo qual estou aqui, enfrentando os desafios e conquistando objetivos.

Agradeço à minha orientadora, professora Loana Velasco, por seu valioso suporte e conhecimento ao longo do processo de elaboração deste trabalho e de toda graduação. Suas orientações e contribuições foram significativas e fundamentais para moldar minhas ideias e alcançar resultados além das minhas expectativas dentro do curso de Engenharia de Energia. Também sou grato pelas oportunidades de estágio que tive durante minha graduação, as quais proporcionaram-me um alto conhecimento na área de regulação no setor elétrico em geral, tanto do ponto de vista da agência reguladora – ANEEL, quanto da visão de um dos maiores agentes do setor, o grupo Equatorial Energia.

Por fim, agradeço a todos que desempenharam um papel significativo na minha jornada acadêmica e puderam contribuir de alguma forma. Aos professores, aos meus amigos, aos supervisores de estágio e a maior instituição que conheço e acompanho, Clube de Regatas Vasco da Gama.

RESUMO

O trabalho tem como objetivo analisar e propor ações de eficiência energética para o prédio 05 da Faculdade de Educação no campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília (UnB). A pesquisa baseia-se em como essas ações atreladas a simulações computacionais termoenergéticas permitem analisar o desempenho energético, conforto térmico e luminoso do edifício. Seguindo uma metodologia para simular e comprovar os benefícios das ações propostas de acordo com protocolos vigentes, busca-se otimizar o uso de energia, com foco principalmente no uso de sistemas de iluminação e climatização eficientes, mas analisando que também existem outras soluções sustentáveis e econômicas. Os resultados obtidos permitirão embasar tomadas de decisão para implementação de medidas de eficiência energética na Faculdade de Educação da UnB e em outros edifícios. Ademais, a metodologia da simulação no software Desgin Builder será detalhada no documento para guiar estudantes, pesquisadores e projetistas em seus futuros trabalhos.

Palavras-chave: Ações de Eficiência Energética, Simulação Computacional, *Design Builder*, Simulação Termoenergética, Faculdade de Educação

ABSTRACT

The study aims to analyze and propose energy efficiency actions for building 05 of the Faculty of Education on the Darcy Ribeiro campus of the University of Brasília (UnB). The research is based on how these actions, coupled with computational thermoenergetic simulations, allow for the analysis of the building's energy performance, thermal and luminous comfort. Following a methodology to simulate and verify the benefits of the proposed actions in accordance with current protocols, the study seeks to optimize energy use, focusing primarily on efficient lighting and climate control systems, while also examining other sustainable and economical solutions. The results obtained will provide a basis for decision-making on the implementation of energy efficiency measures at the Faculty of Education of UnB and other buildings. Furthermore, the methodology of simulation in the Design Builder software will be detailed in the document to support students, researchers, and designers in their future work.

Keywords: Energy Efficiency Actions, Computational Simulation, Design Builder, Thermo-Energy Simulation, Faculty of Education.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para ar condicionado

Figura 02. Selo PROCEL

Figura 03. Histórico de energia com implementação de AEE

Figura 04. Vista Superior da FE

Figura 5: Construção externa de sombreamento

Figura 6: Sala de aula da Faculdade de Educação

Figura 7. Usos Típicos do Design Builder

Figura 8. Tela Inicial do Design Builder

Figura 9. New File and Location Parameter

Figura 10. Import 2D drawing file

Figura 11. Add New Building

Figura 12. Novo Bloco e Árvore de Dados

Figura 13. Novo Bloco e Árvore de Dados

Figura 14. Parâmetros Activity Padrão

Figura 15. Alterando Parâmetros Activity

Figura 16. Alterando Parâmetros Schedule

Figura 17. Diferentes ambientes do bloco

Figura 18. Parâmetros Openings sem janelas

Figura 19. Draw Openings

Figura 20. Parâmetros Janelas

Figura 21. Criando template Construction

Figura 22. Estudo UFSC – Modelo equivalente à parede

Figura 23. Parâmetros Construction

Figura 25. Parâmetros HVAC

Figura 26. Ferramenta Google Earth

Figura 27. Criando Árvore

Figura 28. Visão renderizada

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Levantamento do Sistema de Refrigeração

Tabela 02: Levantamento do Sistema de Iluminação

Tabela 03: Levantamento grade horária das salas de aula

Tabela 04: Eficiência mínima de condicionadores de ar para classificação nos níveis A e B

Tabela 05: Impacto no conforto com as AEE

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01. Consumo mensal FE Ex-ante

Gráfico 02. Consumo por fonte anualizado

Gráfico 03. Balanço Térmico ex-ante

Gráfico 04. Consumo lâmpadas LEDs x Fluorescente

Gráfico 05. Consumo anualizado por fonte com lâmpadas fluorescentes

Gráfico 06. Impacto do retrofit do circuito no consumo mensal

Gráfico 07. Consumo anualizado por fonte ex-post Retrofit circuito

Gráfico 08. Impacto do retrofit HVAC no consumo mensal

Gráfico 09. Consumo por fonte anual ex-post retrofit HVAC

Gráfico 10. Impacto das películas no consumo mensal

Gráfico 11. Ganhos internos Ex-Post película

Gráfico 12. Impacto da arborização no consumo mensal

Gráfico 13. Ganhos internos Ex-Post Arborização

Gráfico 14. Impacto das AEEs no consumo mensal

Gráfico 15. Consumo por fonte Anualizado Ex-ante x Ex-Post

Gráfico 16. Impacto das AEEs no Consumo Anual

LISTA DE SIGLAS

EE Eficiência Energética

FE Faculdade de Educação

UnB Universidade de Brasília

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica

AEE Ações de Eficiência Energética

CEE Coeficiente de Eficiência Energética

EPE Empresa de Pesquisa Energética

MME Ministério de Minas e Energia

INMETRO Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

PROCEL Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PEE Programa de Eficiência Energética

PBE Programa Brasileiro de Etiquetagem

ENCE Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

RCB Relação Custo-Benefício

LED Light Emitting Diode (diodo emissor de luz)

EVO Efficiency Valuation Organization (Organização de Avaliação de Eficiência)

M&V Medição e Verificação

PIMVP Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance

ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

TCC Trabalho de Conclusão de Curso

LCA Life Cycle Analysis

LCC Life Cycle Costs

COP Coeficiente de Performance

RTQ-C Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

Sumário

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Contextualização e Justificativa	16
1.2 Objetivos	17
1.3 Estrutura do Documento	18
1.4 Metodologia de Estudo	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 Eficiência Energética: Conceitos e Benefícios	19
2.2 Regulamentação da Eficiência Energética no Brasil.....	21
2.3 Simulações computacionais na avaliação de eficiência energética.....	23
2.4 Medição e Verificação	24
3. ESTUDO DE CASO: FACULDADE DE EDUCAÇÃO – UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (UnB)	26
3.1 Descrição do prédio e suas características energéticas.....	27
3.2 Levantamento de dados e análise energética inicial	28
3.2.1 Sistema de Refrigeração	29
3.2.2 Levantamento Sistema de Iluminação.....	29
3.3 Identificação de oportunidades de eficiência energética	31
4. METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	33
4.1 Descrição do Software	33
4.2 Modelagem e parâmetros da simulação	37
4.2.1 Layout.....	38
4.2.2 Activity	41
4.2.3 Openings	45
4.2.4 Construction.....	47
4.2.5 Lighting	48
4.2.6 HVAC.....	49
4.2.7 Árvores	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
5.1 Análise cenário Atual: Ex-Ante.....	52
5.2 Análise das ações de eficiência energética propostas	54
5.2.1 Retrofit do sistema de iluminação e circuitos elétricos	54
5.2.2 Retrofit do sistema de ar condicionado	57
5.2.3 Películas	59
5.2.4 Arborização.....	60
5.2.5 Implantação de todas AEEs.....	61
5.3 Comparação entre os resultados simulados e a situação atual	62
5.4 Impacto das AEEs na implementação de um sistema de geração distribuída.....	64
5. CONCLUSÃO	65
6.1 Recapitulação dos objetivos e resultados alcançados	65

6.2 Contribuições do estudo.....	66
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e Justificativa

A preocupação com eficiência energética é um tema que ganha cada vez mais destaque ao longo dos anos no Brasil e no Mundo. Após a crise do petróleo em 1970, começaram a enxergar que reduzir as perdas e desperdícios de energia poderia trazer grandes benefícios, tanto a curto prazo falando da economia de energia em si, quanto a longo prazo no escopo da sustentabilidade e melhoria de variáveis ambientais. (MME, 2023)

Na década de 80 foram criados os primeiros programas sobre eficiência energética no Brasil. A partir daí, desencadeou-se uma sequência de marcos governamentais para contribuir com este setor, dando destaque para a Lei da Eficiência Energética criada em 2000 com o objetivo de realizar investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica. (Lei nº 9.991, 2000)

Desde então, milhares de projetos nesta área foram feitos a partir de chamadas públicas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), aumentando projetos voltados para Ações de Eficiência Energética (AEE) por todo o país. A agência constatou que o gasto com energia elétrica representa um dos principais itens de custeio das Instituições Públicas de Educação Superior e que parte considerável dessa despesa poderia ser evitada por meio de ações de eficiência energética e da implantação de sistemas de geração própria de energia. Nesse contexto, a chamada pública nº 01/2016 da ANEEL traz como objetivo principal a eficiência energética nas universidades públicas, e os projetos aprovados servem como espelho para este estudo.

Assim, a proposta de AEE para a Faculdade de Educação da UnB busca otimizar o consumo para reduzir a demanda de energia, a fim de gerar economia financeira e consequentemente trazer benefícios para o meio ambiente. Dessa forma, o software *Design Builder* é utilizado para avaliar o impacto energético de cada uma das possíveis ações que podem ser realizadas no prédio estudado, trazendo assim uma análise de quais são as melhores decisões a se tomar levando em consideração a economia de cada uma. A simulação computacional tem um papel muito importante nessas análises e tomadas de decisão para qualquer projeto de EE, e hoje já é

considerada fulcral neste mercado.

1.2 Objetivos

1.2.1. Objetivos Gerais

O objetivo geral deste estudo consiste em investigar e propor ações de eficiência energética no prédio Faculdade de Educação 05 da Universidade de Brasília (UnB), empregando a metodologia de simulações computacionais como base para a análise. O foco primordial é identificar e avaliar as melhores opções de ações de eficiência energética para o estudo de caso em questão, objetivando aprimorar o desempenho energético do edifício e otimizar o consumo de energia através de práticas sustentáveis.

Adicionalmente, um dos objetivos deste trabalho é documentar de forma detalhada a metodologia e o passo a passo utilizado no software *Design Builder*, de modo que o processo possa ser replicado ou utilizado como material de estudo por alunos da área e por profissionais interessados em realizar simulações semelhantes para seus próprios estudos de caso. Assim, com base nos resultados obtidos, este estudo não apenas contribui com conhecimentos práticos para a melhoria do desempenho energético da Faculdade de Educação, mas como um guia valioso para futuras iniciativas de eficiência energética em outras edificações que poderão orientar gestores de outros edifícios na implementação de estratégias similares de eficiência energética.

1.2.2. Objetivos Específicos

Dentre os objetivos específicos do estudo, pode-se destacar primeiramente a familiarização com o software *Design Builder*, usado para as simulações termoenergética na FE. Foi necessário adquirir conhecimentos e habilidades na ferramenta para inserir os parâmetros necessários que possibilitam modelar o prédio da Faculdade de Educação, considerando as propriedades físicas e os sistemas presentes que resultarão em um modelo preciso para simulação.

Além disso, procurou-se fazer um levantamento detalhado das características energéticas do edifício estudado, considerando aspectos como sistemas de iluminação, climatização e isolamento térmico. Todas essas informações são cruciais no escopo da simulação para que esta se aproxime cada vez mais do real.

Dado o domínio adquirido no manuseio do software e a coleta de dados para a parametrização da edificação, pode-se encontrar oportunidades significativas para a melhoria do consumo energético do edifício. A análise criteriosa dos resultados obtidos das simulações realizadas no *Design Builder*, contempla uma gama de cenários e configurações, mostrando caminhos para a projeção de uma gestão de energia mais econômica.

Por fim, o final do estudo, conclui-se os objetivos abordando uma visão do impacto que tais ações poderiam ter em relação à implementação de sistemas de geração distribuída. Será mensurada então a capacidade dessas ações em diminuir o consumo de energia como um passo preliminar à instalação de tais sistemas, bem como a quantificação da economia resultante deste processo.

1.3 Estrutura do Documento

O documento é segregado em 5 principais partes, onde inicia-se introduzindo o tema e o que será feito no estudo do caso, trazendo uma contextualização sobre o assunto e os objetivos de cada etapa. Em seguida, uma sequência de tópicos aborda a fundamentação teórica e os principais conceitos da eficiência energética, apresentando sua importância e quais benefícios pode-se ter com a aplicação desses métodos.

O terceiro capítulo apresenta o estudo do caso, com foco no detalhamento das características do prédio em análise na Universidade de Brasília. Será apresentado a descrição de suas condições energéticas e climáticas, plantas e levantamento de dados. A partir disso será feita a identificação das melhores oportunidades de eficiência energética para o caso e introduzir isso na simulação computacional do software estudado, detalhando a metodologia no capítulo 4.

Por fim, o quinto capítulo traz a avaliação dos resultados de cada proposta de AEE, baseada nas análises *Design Builder*. Ao final, tem-se a conclusão para recapitular os objetivos e compara-los com os resultados alcançados, além das contribuições do estudo para gestores de outros prédios quanto para alunos acadêmicos.

1.4 Metodologia de Estudo

A metodologia deste estudo concentrou-se na simulação computacional abrangente do edifício inteiro da Faculdade de Educação 05, utilizando o software *Design Builder*. A partir dos dados construtivos e operacionais reais do prédio, o modelo computacional foi desenvolvido para refletir com precisão o consumo energético e identificar as potenciais economias após a implementação das medidas propostas. Os resultados desta simulação fornecem uma visão integral do desempenho energético da edificação e servem como base para a aplicação prática de estratégias de otimização energética.

Em paralelo ao aprimoramento no software, foram levantados conhecimentos teóricos por meio de artigos, livros e diagnósticos de eficiência energética, além de projetos anteriores feitos na própria universidade, servindo como base para escrever o documento e entender os objetivos e logísticas da simulação. Visitas presenciais também foram feitas ao campus Darcy Ribeiro a fim de levantar os dados do prédio estudado. Os dados da quantidade de lâmpadas e ar condicionado foram organizados em uma planilha, assim como suas respectivas potências e capacidade de refrigeração, pois serão utilizadas como entradas na simulação. Assim, com resultados obtidos da simulação no software *Design Builder* é possível ver e comparar cenários de consumo energético do prédio em questão alterando tais fatores.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Eficiência Energética: Conceitos e Benefícios

Diante da crescente demanda de energia e da necessidade de limitar as emissões de gases de efeito estufa, a eficiência energética está se tornando um pilar das metas globais de desenvolvimento. (IEC, 2023). Eficiência significa fazer mais (ou, pelo menos, a mesma coisa) com menos, mantendo o conforto e a qualidade. Quando se discute energia, eficiência energética significa gerar a mesma quantidade de energia com menos recursos naturais ou obter o mesmo serviço com menos energia (EPE, 2023).

O crescente aumento na demanda de energia elétrica traz a necessidade de investimentos na geração de energia e no desenvolvimento de novas fontes energéticas. Contudo, esta não é a única solução para atender ao crescimento da demanda. Estudos realizados pela Associação Brasileira de Empresas de Serviço de

Conservação de Energia (ABESCO) apontam que é cerca de quatro vezes mais barato economizar 1 MWh do que gerar um. (ABESCO, 2017). Dessa forma, diminuir gastos energéticos mantendo a capacidade de operação dos aparelhos elétricos tem sido um dos maiores desafios e ambições do setor.

Nesse contexto, as ações de eficiência energética (AEE) podem ser aplicadas tanto no setor industrial, trazendo melhorias no processo de produção por meio de monitoramento do consumo de energia, quanto medidas aplicáveis em residências ou edificações. Dentre estas, destacam-se a troca das principais cargas elétricas por aparelhos mais eficientes. Um *retrofit* no sistema de iluminação por exemplo, faz com que a troca de lâmpadas incandescentes por lâmpadas LED gere uma economia de até 90% no consumo de energia, fornecendo o mesmo fluxo luminoso e mantendo o conforto dos usuários. (EPE, 2023). No que diz respeito à iluminação de edificações, a eficiência energética pode ser alcançada por meio de dois fatores: uso adequado da luz natural disponível e de sistemas de iluminação artificial eficientes. Quando ambos os fatores são reunidos numa proposta de projeto, aumentam o êxito com relação à economia de energia (TOLEDO, 2008).

Outrossim, outra AEE de grande impacto nos projetos é o *retrofit* do sistema de condicionamento ambiental, onde pode-se fazer a troca por aparelhos de alto Coeficiente de Desempenho/Performance (COP), reduzindo o consumo necessário para a mesma capacidade de resfriamento.

Além disso, estratégias de efeito interativo também são bastante usadas alternativamente à troca dos aparelhos por novos. Uma forma eficaz de reduzir o consumo de energia em um ambiente é diminuir a carga térmica interna, o que pode ser alcançado substituindo equipamentos elétricos existentes por alternativas de alta eficiência que geram menos calor. Alterações na envoltória da edificação também é considerado um efeito interativo resultante na queda da carga térmica local, onde são feitas mudanças nas estruturas externas do prédio a fim de barrar ou reduzir o fluxo de calor dentro dele. O sombreamento externo, por exemplo, obtido por meio da arborização ao redor do edifício, também contribui significativamente nesse objetivo. Essas abordagens tem o efeito de reduzir a demanda por refrigeração, permitindo que os sistemas de ar condicionado operem de maneira mais eficiente e com menor consumo energético, apresentando um custo relativamente menor do que o *retrofit* dos aparelhos internos.

Portanto, esse conjunto de medidas quando combinadas e dimensionadas de

maneira correta, podem trazer uma série de benefícios a curto e a longo prazo, Além da economia de energia na unidade consumidora em estudo e a melhora no conforto e qualidade de vida dos usuários, pode-se citar a valorização de um imóvel com as devidas alterações citadas, ou quando este opta por colocar geração distribuída em sua residência. Ademais, do ponto de vista sustentável, ações de eficiência energética são relevantes para o meio ambiente, uma vez que a redução na demanda de energia poupa recursos naturais resultando em menores emissões de gases de efeito estufa.

2.2 Regulamentação da Eficiência Energética no Brasil

A regulamentação da eficiência energética no Brasil vem desde a década de 80 tentando promover o uso racional de energia e aumentar a eficiência dos equipamentos e edifícios. Em 1975, ocorreu a primeira ação na direção de criar uma política pública de racionalização do consumo de energia com o seminário sobre o tema organizado pelo 21 Ministério de Minas e Energia (MME). Porém, apenas em 1981 foi criado o CONSERVE, primeiro programa Brasileiro voltado para implementação de ações de eficiência energética, tendo o objetivo de promover a conservação de energia na indústria desenvolvendo equipamentos mais eficientes e incentivando o uso de fontes alternativas de energia. (ASSUNÇÃO E SHUTZE, 2017).

Em 1984, o INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, deu início às discussões sobre programas que fornecessem informações sobre a eficiência energética dos equipamentos disponíveis no mercado. Nesse contexto, houve a criação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) pelo INMETRO com o objetivo de orientar o consumidor a optar por equipamentos mais eficientes a partir de uma etiqueta com coeficientes indicando o desempenho energético. Essa etiqueta é chamada de ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.

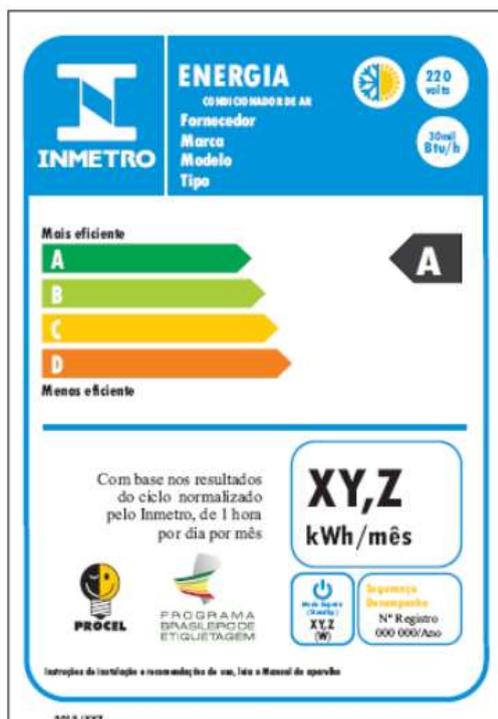


Figura 1: ENCE para Ar Condicionado.



Figura 2: Selo PROCEL

No ano seguinte, foi criado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), visando realizar ações sistemáticas de racionalização do consumo energético criando mecanismos de orientação da sociedade quanto a efetividade das ações de conservação de energia. (VERDE, 2000). No ano de 1993, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), em colaboração com o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), estabeleceu o selo PROCEL de economia de energia, com o objetivo orientar o consumidor no ato da compra, indicando os produtos disponíveis no mercado que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria. Para receber esse selo, é necessário que o equipamento seja classificado como classe A na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). (ELETROBRAS/PROCEL, 2011).

Com a virada do século, vieram duas leis consideradas como marcos regulatórios no setor de eficiência energética. A Lei 9.991/2000 dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. (BRASIL. Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000). A partir dessa Lei, foi criado o Programa de Eficiência Energética das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica (PEE), estabelecendo que uma

fração da Receita Operacional Líquida das empresas distribuidoras de energia elétrica deve ser dedicada a projetos de eficiência energética, sob a gestão da Aneel. Além disso, a chamada Lei de Eficiência Energética nº 10.295/01 instituiu-se o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética, responsável pela regulamentação de níveis mínimos de eficiência energética para equipamentos e e pela promoção da eficiência energética nas edificações construídas no País. (MME, 2023).

A linha do tempo de marcos regulatórios contribuiu para o crescimento de projetos na área de eficiência energética no país, que hoje são selecionados a partir de Chamadas Públicas organizadas pela ANEEL. Um exemplo recente realizado na própria Universidade de Brasília foi na chamada de Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de P&D nº 001/2016 da ANEEL, que tinha como objetivo reduzir entraves à implementação de projetos de Eficiência Energética (EE) e de geração própria de energia (Minigeração) por meio da implantação de projetos pilotos em Instituições Públicas de Educação Superior.

2.3 Simulações computacionais na avaliação de eficiência energética

O avanço da tecnologia da informação, com o desenvolvimento de softwares específicos para diversas áreas, influenciou no processo de projeto das edificações. Atualmente dispomos de diversos instrumentos de modelagem e simulação gráfica que podem auxiliar a concepção do projeto arquitetônico, avaliando as diversas soluções para que a proposta final obtenha os níveis de eficiência e qualidade ambiental requerido pelos diversos métodos. (OLIVEIRA ET AL, 2016).

Com relação à simulação da eficiência energética, Didoné e Pereira (2010, p.139) afirmam que "a avaliação do desempenho energético de edificações é uma tarefa complexa que envolve grande quantidade de variáveis interdependentes e conceitos multidisciplinares", por isto o uso de simulações computacionais permite realizar a análise de diversos cenários ainda na fase de projeto, ou mesmo após a construção, que seriam demasiadamente demorados e desgastantes, viabilizando a melhoria da qualidade dos projetos. Dessa forma, Os softwares têm tido "uma aplicabilidade cada vez maior pelo fato de poderem ser utilizados tanto para projetos que ainda estejam em processo de concepção, como para aqueles que já se encontram construídos, e necessitam de algum tipo de modificação, por meio de

análises de viabilidade” (ROMERO, 1998)

As simulações computacionais utilizam modelos matemáticos e algoritmos avançados para simular o comportamento dos sistemas, conseguindo prever seu desempenho energético e fornecer informações precisas para a tomada de decisões relacionadas ao uso de energia. Por meio dessas simulações, é possível identificar as oportunidades de economia de energia e a otimização do consumo e qual a melhor forma de fazer isso. Assim, o principal benefício das simulações é a capacidade de analisar e comparar diferentes estratégias e tecnologias antes de sua implementação física, descartando possíveis erros de projeto ou execuções sem comprovação.

No site oficial da PROCEL há uma lista com diversos softwares de simulação para projetos de eficiência energética. Todos eles tem diversos parametros que permitem uma análise detalhada dos fatores que influenciam no cálculo energético do edifício simulado, como o sistema de iluminação, sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, isolamento térmico, entre outros. Além disso, muitos deles tem uma diversa base de dados que influenciam na simulação, podendo adaptar o local em que o edifício está e trazer suas devidas condições climáticas, como umidade e temperatura do ar, radiação, ventos, etc. Essa análise abrangente ajuda a identificar os pontos de maior gasto energético do sistema, bem como as oportunidades de melhoria, permitindo a implementação de medidas eficientes e econômicas.

2.4 Medição e Verificação

“Medição e Verificação” (M&V) é o processo de planejamento, medição, coleta e análise de dados com a finalidade de verificar e relatar a economia de energia em uma instalação individual resultante da implementação de medidas de conservação de energia. (EVO). A economia não pode ser medida diretamente, pois representa a ausência de uso de energia. Em vez disso, as economias são determinadas comparando o uso medido antes e depois da implementação de um projeto, fazendo os ajustes apropriados para mudanças nas condições. (EVO, 2012). As duas fases de avaliação da M&V durante o projeto, portanto são:

a) avaliação ex-ante, com valores estimados, na fase de Definição, quando se estimam os resultados esperados, em procedimento baseado em análises de campo, dados típicos, experiências anteriores e cálculos de engenharia

b) avaliação ex-post, com valores mensurados, consideradas a economia de energia e a redução de demanda na ponta avaliadas por ações de Medição e

Verificação, a partir de medições feitas nas fases de Execução (período da linha de base) e Verificação (período de determinação da economia) e análise para determinação da eficiência energética.

A figura abaixo mostra o histórico do consumo de energia de uma caldeira industrial, antes e depois da implementação de uma AEE para recuperar calor dos seus gases de combustão. Quando da execução da AEE, a produção da fábrica também aumentou. (EVO, 2012)

Fonte: EVO, 2012

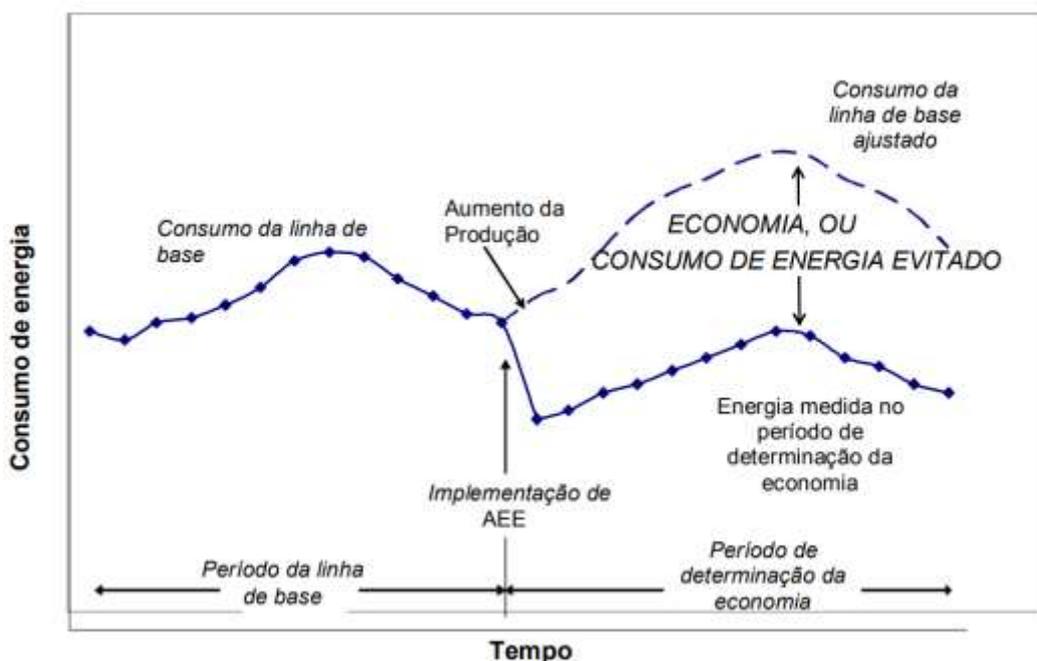


Figura 3: Histórico de energia com implementação de AEE

O PIMVP fornece quatro opções para determinar a economia de uma AEE. São classificadas entre opções de A até D, onde cada um tem sua particularidade listada a seguir:

- Opção A - Realização de medição em campo de parâmetros chave e estimativa dos demais parâmetros, permitindo a medição isolada de um equipamento ou sistema específico, delimitando a fronteira de medição para cada um.
- Opção B - Realização de medição em campo de todos os parâmetros envolvidos no cálculo, tanto antes quanto depois da implementação das ações de eficiência energética.

- Opção C - Medição do consumo total da instalação, sem especificação de equipamentos ou outras fronteiras. Normalmente, são utilizados medidores da concessionária de energia ou medidores próprios, levando em consideração a economia total de consumo do edifício, incluindo todas as variáveis, mesmo aquelas não diretamente relacionadas às ações realizadas.
- **Opção D** - Simulação energética do consumo da instalação por meio da calibração e parametrização de um modelo em um software de simulação, levando em conta as características do edifício real. O modelo é simulado antes e depois da implementação das ações de eficiência, permitindo a previsão da economia de energia alcançada de forma geral ou por categoria.

3. ESTUDO DE CASO: FACULDADE DE EDUCAÇÃO – UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (UnB)

Localizada em Brasília, no Distrito Federal, a Universidade de Brasília (UnB) é uma das principais e mais relevantes instituições de ensino superior do Brasil. A UnB abriga diversos institutos, faculdades, departamentos e centros, proporcionando uma ampla gama de cursos e oportunidades de pesquisa e desenvolvimento em seus quatro campi: o Campus Darcy Ribeiro, em Brasília, a Faculdade UnB Planaltina, o Campus UnB Gama e a Faculdade UnB Ceilândia.

O escopo deste trabalho será a Faculdade de Educação da UnB, que fica localizada no campus Darcy Ribeiro, na Asa Norte. Esse departamento conta com três prédios que têm funções importantes na área acadêmica e administrativa da universidade. São eles:

- Departamento de Métodos e Técnicas (MTC - FE 01);
- Departamento de Planejamento e Administração (PAD - FE 03);
- Departamento de Teoria e Fundamentos (TEF - FE 05).

Fonte: Google Earth



Figura 4: Vista Superior da FE

O prédio analisado no estudo será o Departamento de Teoria e Fundamentos, conhecido como FE 05, buscando avaliar as propriedades energéticas e encontrar possibilidades de eficiência energética para melhorar o desempenho energético da faculdade.

3.1 Descrição do prédio e suas características energéticas

O prédio do Departamento de Teorias e Fundamentos (TEF) da Faculdade de Educação (FE) da Universidade de Brasília (UnB) é um espaço acadêmico de caráter educacional, composto por diversas salas de aula e ambientes destinados ao ensino, pesquisa e extensão. O prédio abriga cinco áreas de conhecimento: Educação, sociedade e cultura; Psicologia da Educação; Educação e Trabalho; Educação Especial e Inclusiva; e Educação Ambiental e Ecologia Humana. Essas áreas englobam atividades de ensino de graduação e pós-graduação, pesquisa e extensão, contribuindo para a formação de educadores e a produção de conhecimento nas respectivas áreas. (UnB, 2019).

No que se refere às características energéticas do prédio, é importante destacar que o edifício conta com salas de aula que geralmente funcionam das 08h às 22h, sendo um espaço com grande demanda energética durante o período letivo.

Além das salas de aula, o prédio também possui um auditório, salas destinadas à direção e salas de aula utilizadas para cursos de pós-graduação. Cada ambiente possui características específicas de consumo, ocupação e atividades.

As salas de aula são equipadas com lâmpadas tubulares e sistemas de ar condicionado, visando garantir o conforto dos estudantes e professores. Além disso, essas salas contam com janelas amplas, que proporcionam entrada de luz natural, contribuindo para a redução do consumo de energia elétrica. Para promover maior conforto térmico, as salas possuem construções externas que atuam como brises no lado de fora, auxiliando no controle da temperatura interna por ganhos solares nos ambientes, e isso também foi considerado na simulação.

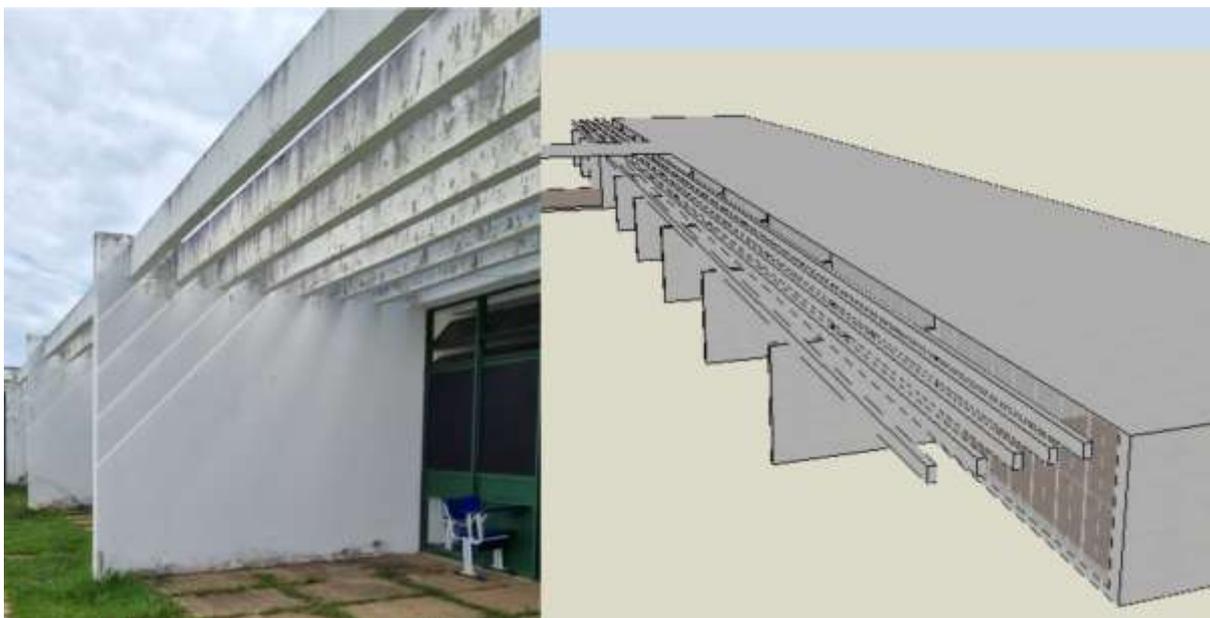


Figura 5: Construção externa de sombreamento

3.2 Levantamento de dados e análise energética inicial

O levantamento de dados e a análise energética inicial foram etapas fundamentais para compreender o consumo de energia do prédio da Faculdade de Educação (FE) da Universidade de Brasília (UnB). Para obter os dados necessários, foi realizado um levantamento presencial na FE 05, que envolveu a coleta de informações sobre o sistema de iluminação e o sistema de resfriamento, além de fotografias para caracterizar alguns parâmetros importantes para simulação computacional. Os dados quantitativos e técnicos das cargas elétricas principais foram documentados em uma planilha e organizados em tabelas, onde foram contabilizados no prédio um total de 12 aparelhos de ar condicionado e mais de 700

lâmpadas, conforme detalhado nos subcapítulos abaixo.

4.2.1 Sistema de Refrigeração

A capacidade térmica e o modelo de cada aparelho do sistema de refrigeração foram levantadas presencialmente fotografando a etiqueta de cada aparelho. Com base nessas informações, foram consultados os catálogos técnicos dos fabricantes a fim de obter dados sobre o consumo energético em watt-hora (Wh). Esses dados foram essenciais para determinar o parâmetro-chave para a entrada de dados no modelo de simulação dos sistemas de ar condicionado do edifício, o COP - Coeficiente de Performance. Segundo a norma ASHRAE 90.1, o COP é a razão entre o calor removido do ambiente e a energia consumida, para um sistema completo de refrigeração ou uma porção específica deste sistema sob condições operacionais projetadas.):

$$COP = \frac{\text{Capacidade Térmica (W)}}{\text{Consumo (Wh)}} \quad [1]$$

CLASSIFICAÇÃO	TIPO	CAPACIDADE TÉRMICA		Consumo (Wh)	COP
		BTU/h	W		
AUDITORIO	SELF CONTAINED	10 TR	35168	15300	2,30
BT 70/15 SALA 11	PISO TETO	48000	14084	4605	3,06
BT 62/13 SALA 10	PISO TETO	48000	14084	4605	3,06
BT 55/13 SALA 9	PISO TETO	48000	14084	4605	3,06
BT 47/13 SALA 8	PISO TETO	48000	14084	4605	3,06
BT 39/13 SALA 7	PISO TETO	48000	14084	4605	3,06
BT 08/15 SALA MULTIUSO	PISO TETO	60000	17580	5767	3,05
SALA 06	PISO TETO	60000	17580	5767	3,05
SALA 05	PISO TETO	60000	17580	5767	3,05
BT 09/13 SALA NOES	PISO TETO	24000	7032	2670	2,63
BT 16/13 Depósito	PISO TETO	18000	5274	1625	3,25
BT 20/13 CA	PISO TETO	24000	7032	2670	2,63

Tabela 1: Levantamento Sistema de refrigeração

3.2.2 Levantamento Sistema de Iluminação

O levantamento do sistema de iluminação também foi realizado in loco e permitiu a identificação e quantificação das lâmpadas em cada ambiente, bem como a respectiva potência individual. Durante a análise, constatou-se a coexistência de lâmpadas fluorescentes de tecnologia mais antiga e lâmpadas de LED mais novas eficientes, estas últimas já incorporadas ao sistema através de iniciativas da

distribuidora NeoEnergia. Este fato indica que um processo de substituição está em andamento.

Para refletir o estado atual na simulação computacional, optou-se por considerar a implementação integral de lâmpadas de LED de 18W, projetando o cenário pós-modernização. No entanto, um cenário prévio à substituição também foi simulado, com o objetivo de avaliar o impacto da medida de eficiência energética atualmente em curso. Na tabela abaixo, pode-se ver o levantamento considerado na simulação com a quantidade de lâmpadas por ambiente e a potência estabelecida em cada uma na simulação.

Fonte: Autor

Ambiente	Total de Lâmpadas	Tipo	Potência da lâmpada (W)
Sala funcionários	4	LT	18
Sala de Amamentação	6	LT	18
Depósito	8	LT	18
Lab de Ciências	14	LT	18
Sala 03	16	LT	18
Sala 04	16	LT	18
Sala 05	16	LT	18
Sala 06	24	LT	18
Circulação Auditorio	58	LT	18
Cantina passagem	4	Refletor LED	50
Circulação BT	50	LT	18
CA	20	LT	18
Sala fechada	20	LT	18
NOES	48	LT	18
Sala Multiuso	52	LT	18
Banheiros BT	12	LT	18
Sala 7	48	LT	18
Sala 8	48	LT	18
Sala 9	48	LT	18
Sala 10	44	LT	18
Sala 11	52	LT	18
jardim interno	6	Refletor LED	50
Externo	6	Refletor LED	200

Tabela 2: Levantamento Sistema de Iluminação

Um aspecto relevante observado durante o levantamento de dados foi a presença de janelas amplas nas salas do prédio, que vão do chão ao teto. Isso proporciona uma entrada significativa de luz natural durante o dia, reduzindo a necessidade de consumo energético com iluminação artificial, e uma ação será

proposta considerando essa vantagem construtiva. Dessa forma, essa característica contribui para a eficiência energética do edifício, resultando em uma demanda menor de energia elétrica nesse aspecto. Porém, também é preciso avaliar o calor dentro da sala e a influência que a janela tem nessa projeção.

Fonte: Autor



Figura 6: Sala de aula da Faculdade de Educação

Além disso, ao observar a figura aérea do prédio (Figura 4), é possível notar que as salas localizadas nas extremidades do edifício apresentam maior sombreamento devido à presença de árvores na área externa. Essa condição influencia na carga térmica do prédio de acordo com a época do ano, podendo contribuir para a redução da necessidade de resfriamento em determinadas áreas e terá os ganhos simulados detalhados posteriormente.

3.3 Identificação de oportunidades de eficiência energética

A análise dos dados coletados no levantamento energético do prédio universitário revelou múltiplas oportunidades para incrementar a eficiência energética da edificação. As intervenções mais significativas referem-se aos sistemas de

iluminação e climatização, responsáveis pela maior parcela do consumo energético do prédio. A modernização desses sistemas é projetada para oferecer uma redução considerável no consumo de energia elétrica. Neste contexto, a iniciativa de substituição das lâmpadas fluorescentes e incandescentes por luminárias de LED, uma transição já em processo da NeoEnergia, promete elevar a eficiência em até 90%, com a vantagem adicional da longevidade das novas lâmpadas. (EPE, 2023). Ademais, a carga luminotécnica representa grande parte do consumo total levantado, fazendo com que esta ação traga economia considerável na conta de energia do prédio.

A reconfiguração dos circuitos de iluminação, ajustando-os para alinhar paralelamente às extensas janelas que se estendem do piso ao teto, também representa uma estratégia inovadora para otimizar o uso da luz natural. Este rearranjo permite o desligamento seletivo das luminárias mais próximas às fontes de luz natural durante as horas de sol, maximizando assim a eficiência energética sem comprometer a qualidade luminosa necessária para as atividades acadêmicas.

No âmbito dos sistemas de climatização, a substituição de aparelhos de ar-condicionado antigos por unidades mais modernas e eficientes, detentoras do selo PROCEL, é uma ação com potencial para provocar uma queda substancial no perfil de consumo energético do prédio. Essa medida resulta em um impacto significativo na redução do consumo de energia, uma vez que os ares condicionados são equipamentos que demandam alta demanda energética no prédio, principalmente em épocas de calor.

Outra oportunidade é a aplicação de películas nos vidros das janelas das salas de aula. Essa medida visa reduzir a entrada do calor solar no ambiente, reduzindo a necessidade de refrigeração através do sistema de ar condicionado.

Em complemento, a influência da vegetação nas cargas térmicas do prédio será analisada através das simulações computacionais. Estas simulações contemplarão cenários com e sem a presença de árvores no entorno do prédio, permitindo uma análise quantitativa do impacto do sombreamento natural no desempenho térmico da edificação. A presença de vegetação não só pode reduzir a necessidade de refrigeração, como também promover a biodiversidade e melhorar a qualidade do ar local, o que pode ser obtido como saída de dados no Software utilizado.

A priorização das AEEs será realizada com base em critérios como o potencial

de economia de energia, a viabilidade técnica e financeira, o impacto ambiental e os benefícios para os usuários do prédio. Assim, serão apresentadas as ações que apresentarem maior impacto na redução do consumo de energia, um panorama do impacto que todas teriam de maneira conjunta. Por fim, será feita uma análise de como essas ações impactam o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para o prédio, antes da sua instalação.

4. METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A simulação pode ser subdividida em três etapas que contribuem para sua eficácia e confiabilidade: modelagem, simulação e análise. Na primeira, é necessário formular o problema, identificando qual questão ou desafio será abordado por meio da simulação, para realizar atividades que ajudarão na construção do modelo, como a coleta de dados usada como dados de entrada para a simulação. Em seguida, é realizada a formulação do modelo conceitual, estabelecendo os parâmetros e características do ambiente a ser simulado, visando criar um modelo válido e próximo da realidade. (SILVA, 2020)

Posteriormente, ocorre a tradução do modelo para uma representação computacional, permitindo que os dados sejam processados pelo computador. Nesse estágio, podem ser criados cenários distintos, como otimista e pessimista, para avaliar os parâmetros mais impactados em cada implementação. (SILVA, 2020)

A análise e interpretação dos resultados são etapas essenciais, que envolvem a elaboração de relatórios detalhados com todos os insumos obtidos durante a simulação. Esses relatórios fornecem informações importantes para demonstrar o conhecimento adquirido e embasar as decisões a serem tomadas. Com base nos resultados da simulação, são tomadas as decisões necessárias para a implementação das soluções. (SILVA, 2020)

4.1 Descrição do Software

O software *Design Builder* é uma poderosa ferramenta de modelagem termoenergética de edifícios. Com uma interface amigável comparada a outros softwares, o *Design Builder* possibilita a criação, visualização e simulação de modelos térmicos detalhados na 3ª dimensão. O programa é validado pela ASHRAE Standard 140 (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning*

Engineers) e tem a capacidade de modelar as variações horárias de ocupação, iluminação, equipamentos elétricos e sistemas de ar condicionado ao longo do ano. Além disso, o *Design Builder* considera os efeitos da inércia térmica, permitindo a modelagem de múltiplas zonas térmicas e a simulação de estratégias bioclimáticas adotadas no projeto. (SILVA, 2014).

O *EnergyPlus* é o algoritmo do software, responsável por fornecer suporte lógico a ele, agindo como uma engrenagem para o funcionamento da plataforma, apresentando os resultados da simulação. No *EnergyPlus*, os resultados são apresentados em forma de tabelas contendo valores, o que requer o uso de outro software adicional para processá-los e gerar gráficos, como o Excel. No entanto, ao utilizar a interface gráfica disponível, é possível gerar os gráficos necessários, bem como mapas térmicos que representam a distribuição de calor no ambiente, tornando a análise mais fácil e da dinâmica.

Dentre as principais finalidades do *Design Builder*, destacam-se:

- Calcular o impacto de várias opções de projeto no consumo de energia do edifício.
- Avaliar opções de fachada para superaquecimento e aparência visual.
- Simulação térmica de edifícios naturalmente ventilados.
- Relatório de economia em iluminação elétrica devido ao uso da luz natural.
- Previsão do desempenho da luz do dia por meio de simulações de radiação.
- Visualização de layouts de terreno e sombreamento solar.
- Calcular tamanhos de equipamentos de aquecimento e resfriamento.
- Simulação detalhada e projeto de sistemas de HVAC e ventilação natural, incluindo o impacto da distribuição de ar de suprimento na distribuição de temperatura e velocidade dentro de uma sala usando CFD
- Modelos de energia ASHRAE 90.1 e LEED.
- Análise econômica baseada em custos de construção, custos de serviços públicos e custos do ciclo de vida (LCC - life cycle costs)
- Regulamentos de construção e relatórios de certificação do Reino Unido, Irlanda e França
- Otimização de projeto com múltiplos objetivos, restrições e variáveis de projeto.
- Análise do ciclo de vida (LCA - Life-cycle analysis)

- Auxílio de comunicação em reuniões de design.
- Uma ferramenta educacional para o ensino de simulação de construção para estudantes de arquitetura e engenharia.

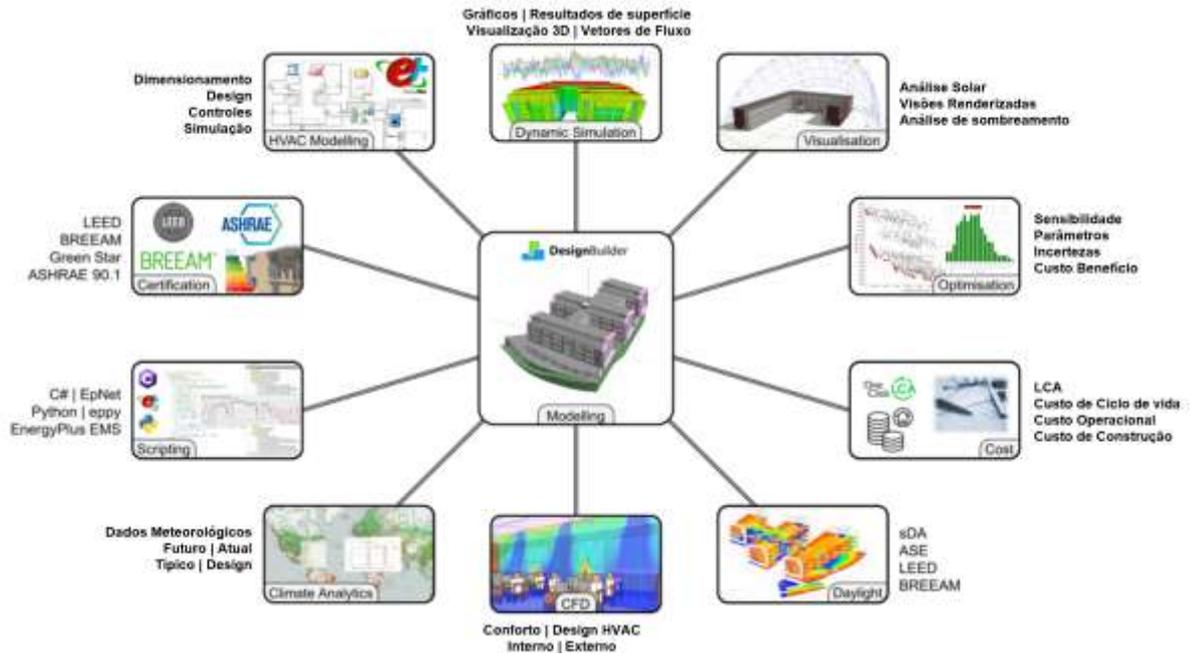


Figura 7. Usos Típicos do *Design Builder*

Uma licença na versão 6.1.0.006 do *Design Builder* foi disponibilizada pela universidade, a qual utiliza a versão 8.9 do *EnergyPlus* e engloba quase todos os itens citados na sua versão mais completa para engenheiros. Caso o usuário não possua uma licença, ele pode usufruir de um período teste válido para estudantes por 30 dias utilizando a versão completa do software. Para isso, é necessário realizar um cadastro no site oficial do software e ativar sua licença por dentro dele para ter acesso a todos os pacotes.

Uma das vantagens significativas do software *Design Builder* é a sua extensa base de dados interna, que abrange uma ampla gama de materiais de construção, sistemas de iluminação, equipamentos HVAC e vários outros elementos relevantes para a simulação energética de edifícios. Na imagem abaixo pode-se a tela inicial do *Design Builder*, a qual contém alguns ícones legendados e bem intuitivos com funcionalidades de criar, importar (Importar a planta de outro software – Autocad) ou salvar um novo projeto. Além disso, pode-se interagir com três abas principais:

- *Recent files*: Contém todos arquivos recentes abertos pelo usuário, além de templates base que o software oferece;

- **Component Libraries:** Biblioteca de componentes com diversos parâmetros a serem inseridos na simulação;
- **Templates Libraries:** Templates de atividades, construção, marcas de aparelhos, localizações, leis, geometrias, etc.

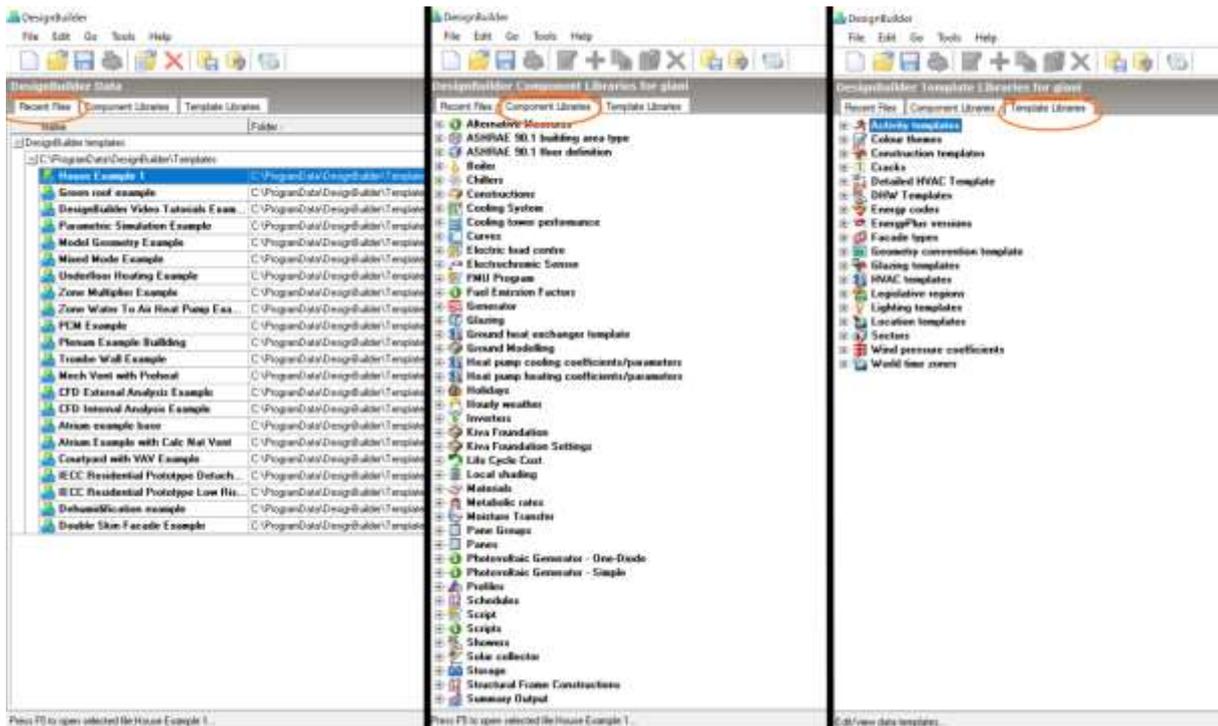


Figura 8. Tela Inicial do *Design Builder*

Ao clicar no ícone de novo arquivo, uma caixa é aberta para nomear o seu projeto e definir o primeiro parâmetro utilizado no software: a localização geográfica do edifício simulado. Nota-se que existe uma base de dados com diversos países e cidades para escolha, cada uma com características meteorológicas específicas.

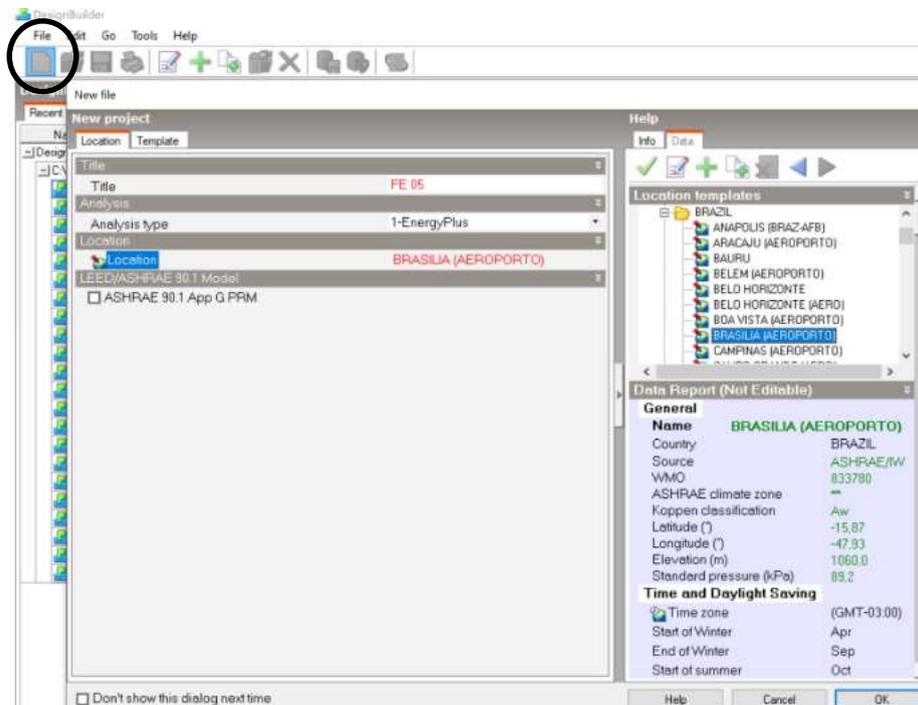


Figura 9. New File and Location Parameter

4.2 Modelagem e parâmetros da simulação

O presente capítulo irá modelar todo o prédio da Faculdade de Educação 05, demonstrando todos os parâmetros e metodologia de análise utilizados na simulação. Dentro da modelagem referente ao âmbito da simulação, serão consideradas as características coletadas nas visitas técnicas no Departamento de Teoria e Fundamentos da FE, referenciado nas tabelas 1 e 2, além de características construtivas e de rotinas que serão detalhadas no decorrer deste tópico.

A simulação termoenergética realizada pelo *Design Builder* é guiada por uma série de parâmetros essenciais, distribuídos em seis abas principais. Cada aba corresponde a um aspecto específico do projeto e desempenho do edifício, permitindo uma configuração detalhada e uma análise abrangente. As abas incluem:

1. *Layout*: Na aba *Layout*, inicia-se a construção virtual do prédio. Este espaço é dedicado ao desenho arquitetônico da edificação, onde se estabelece a altura e o formato geral do prédio em 3D. A estrutura pode ser segmentada em blocos e zonas, permitindo a definição de parâmetros diferenciados que refletem as características específicas de cada espaço interno, de acordo com a função que desempenham.
2. *Activity*: A aba *Activity* é destinada à especificação das atividades que ocorrem

em cada zona ou bloco definido anteriormente. Esta seção permite atribuir perfis de atividade que possuem características únicas no banco de dados do software. Esses perfis influenciam diretamente o conforto térmico e o consumo energético do prédio utilizando variáveis como densidade ocupacional, uso de equipamentos eletrônicos, a natureza das atividades realizadas e o horário e duração dessas ocupações.

3. *Construction*: Em *Construction*, compreende-se a composição física do prédio. Esta aba permite selecionar os materiais a serem utilizados nas paredes, pisos, tetos e telhados, assim como suas propriedades térmicas distintas. A escolha desses materiais e a definição de suas características térmicas são importantes para a simulação do comportamento térmico do prédio.
4. *Openings*: *Openings* trata das aberturas na edificação, como portas, janelas, vãos e passagens, que são vitais para a ventilação e iluminação natural. É possível definir parâmetros específicos para cada abertura, incluindo o tipo de vidro, molduras, materiais e películas usadas, influenciando tanto o conforto térmico quanto a iluminação do ambiente.
5. *Lighting*: A aba *Lighting* concentra-se no sistema de iluminação do prédio. Os parâmetros inseridos aqui são baseados em dados coletados in loco, convertidos no *input* de densidade de potência da iluminação utilizada nos cálculos da simulação, refletindo estratégias de iluminação eficientes e sua influência no consumo energético total.
6. HVAC: Por fim, HVAC é a aba onde se detalham os sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado. Este segmento do software é crítico para a modelagem das cargas térmicas internas, permitindo a inserção de dados sobre aparelhos de climatização, ventilação natural e outros sistemas que impactam diretamente nas condições térmicas e na qualidade do ar interior.

4.2.1 Layout

Após confirmar na tela mostrada na figura 8, é aberta uma tela de projeto, onde é modelada o layout do prédio e inserido os devidos parâmetros. De início, foi

importada uma planta 2D do software Autocad para o *Design Builder* em formato DFX, onde pode-se usar como parâmetro para desenhar o prédio e sua segregação em blocos e zonas.

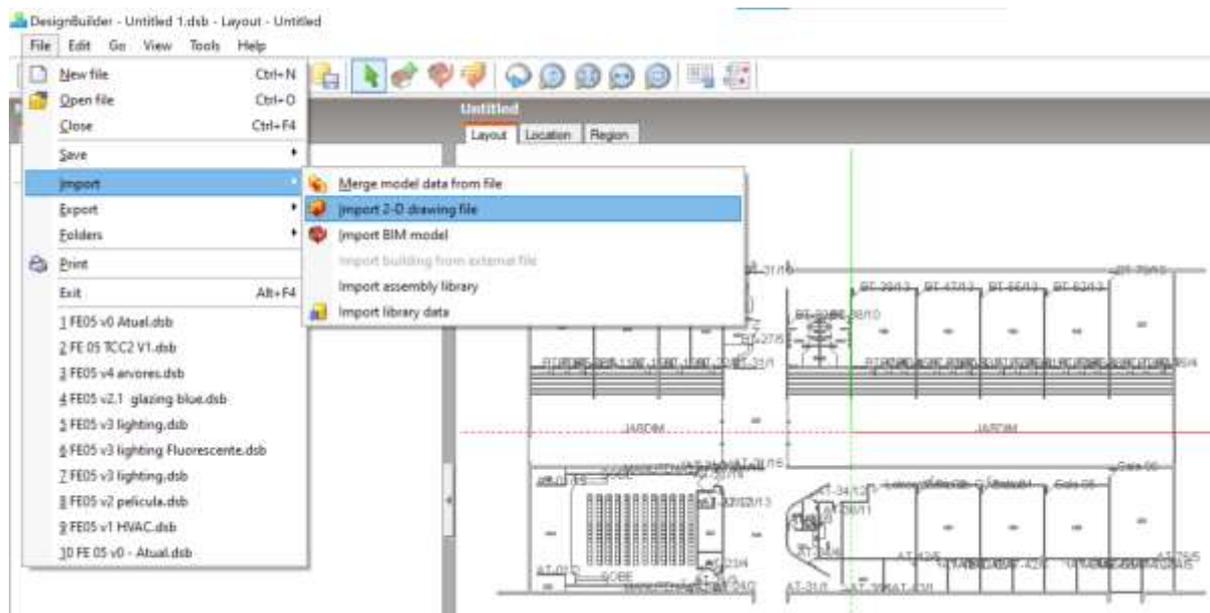


Figura 10. *Import 2D drawing file*

A partir desse passo, pode-se começar a desenhar o prédio adicionando uma nova construção na ferramenta *Add New Building* circulada abaixo. Clicando no OK abrirá uma caixa de opções de desenho, onde o software traz 3 tipos de blocos importantes na simulação:

1. *Building Block*: cria um bloco para avaliação da carga térmica dele, onde pode-se inserir todos os parâmetros citados anteriormente. Será usado para modelar o prédios e salas de aula.
2. *Outline Block*: Criado para fazer blocos mais complexos, podendo interseccionar um com outro, e depois transforma-lo em *Building* ou *Component*.
3. *Component Block*: Um bloco criado sem fins de análise luminotécnica ou térmica, apenas para criar sombreamento nos outros blocos. Será usado em características construtivas e para fazer árvores.

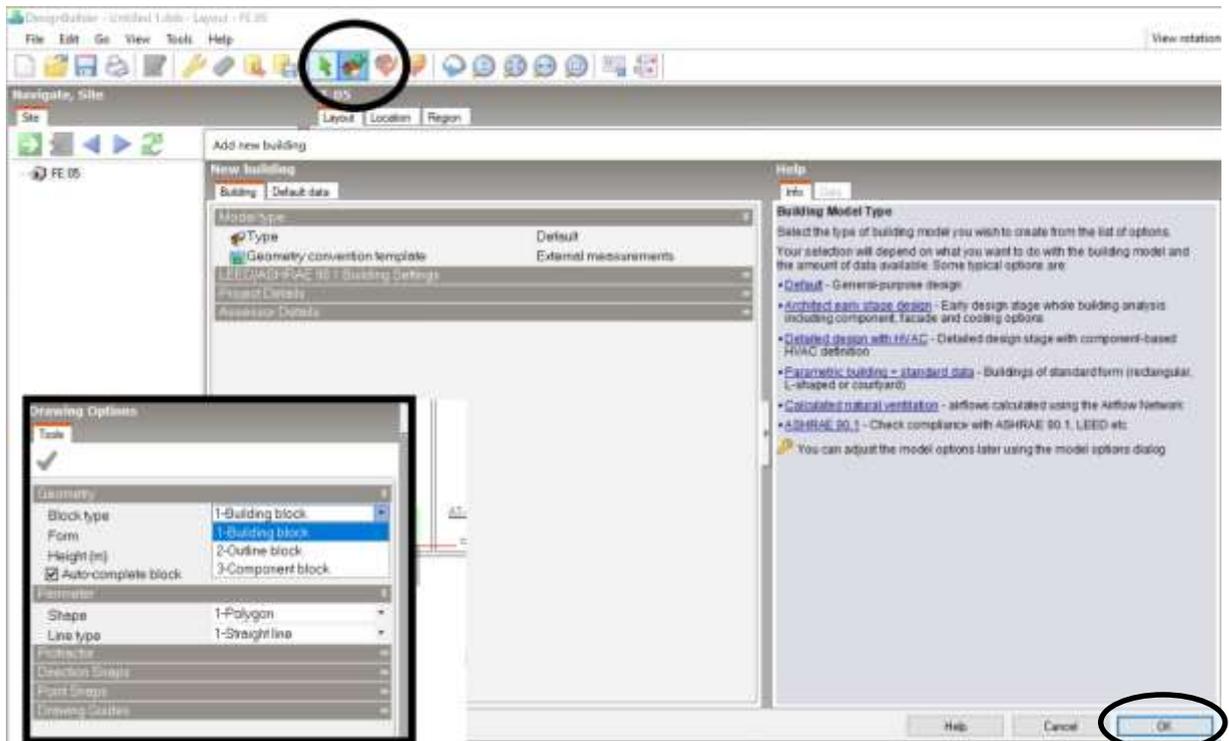


Figura 11. Add New Building

Escolhido o tipo (Inicialmente o *Building Block*), a forma (Padrão) e a altura do bloco (altura do prédio), após desenhá-lo de acordo com o desenho DFX, clicando em OK novamente pode-se visualizar o bloco com as características e parâmetros padrão do software.

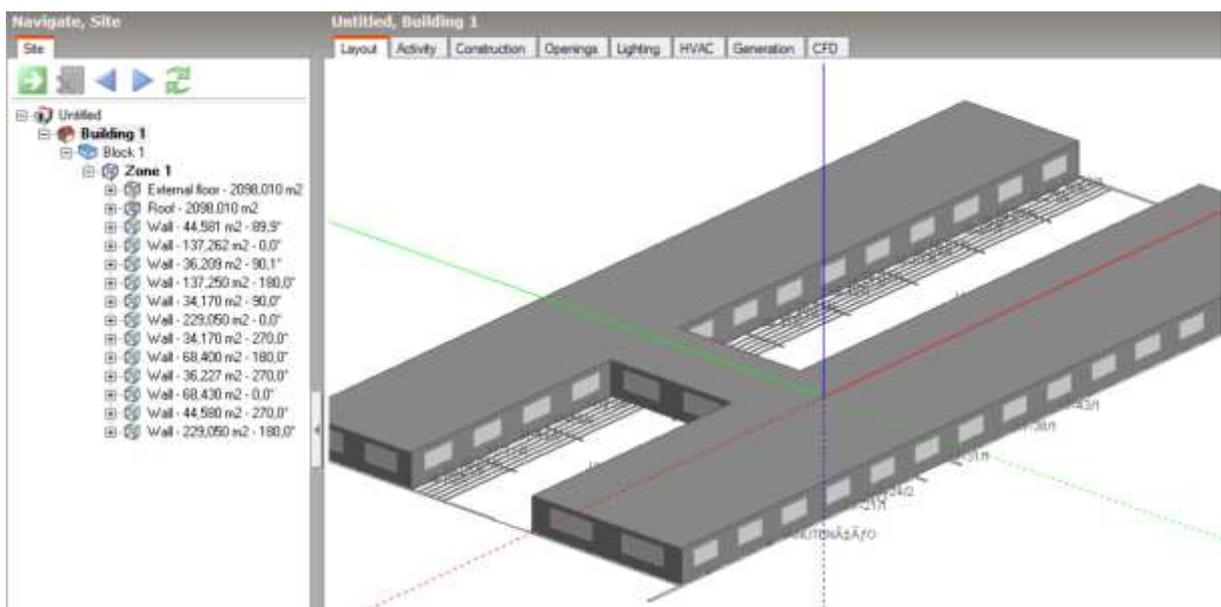


Figura 12. Novo Bloco e Árvore de Dados

O *Design Builder* organiza a estrutura do ambiente simulado em uma árvore de dados, vista à esquerda da imagem acima, de forma que uma alteração feita em

determinada etapa seja aplicada em todas instâncias abaixo. Uma mudança feita na *Zone 1* por exemplo será aplicada à todas as paredes da zona. Porém, uma vez feita uma mudança em uma camada inferior, ela permanecerá mesmo se alterar as camadas superiores.

O Programa criará um prédio, com um bloco, e uma zona dividindo a mesma área. A cada camada que é selecionada (*Building, Block, Zone and Wall*) na árvore de dados, aparecem opções diferentes para alterar a camada selecionada. Diante disso, selecionando a camada *Block 1*, pode-se repartir o bloco em outras zonas com a ferramenta *Draw Partitions* para desenhar as salas de aulas e os outros ambientes.

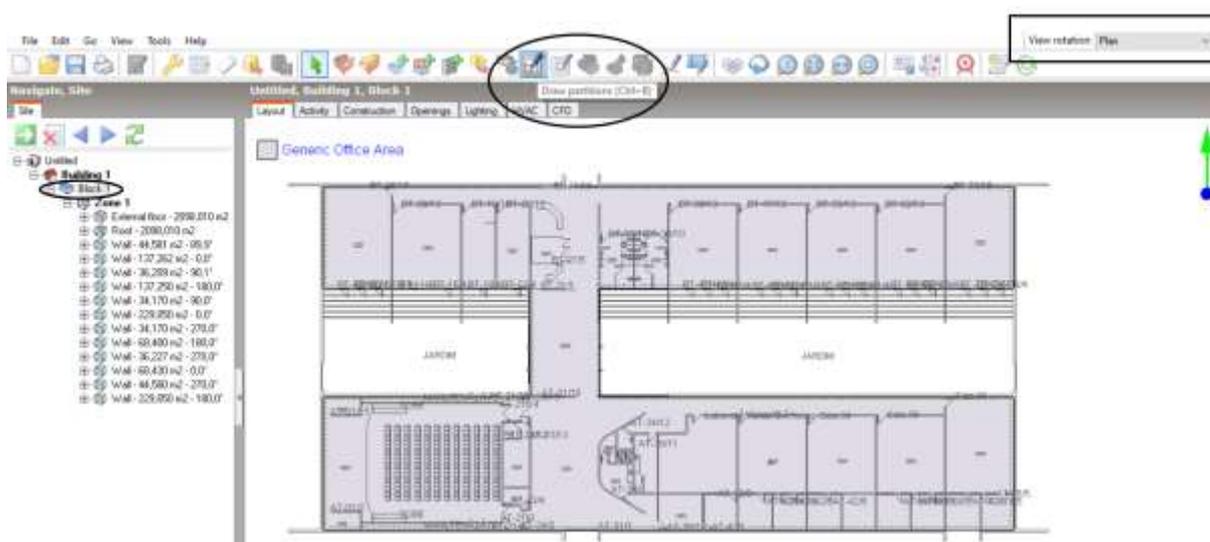


Figura 13. Novo Bloco e Árvore de Dados

Note que quando o bloco é selecionado, há uma marcação envolta da palavra na árvore de dados. A partir disso o software disponibiliza ferramentas para fazer alterações específicas daquela camada. Outra ferramenta útil é a circulada mais à direita da imagem, a *View Rotation*, onde pode-se escolher o ângulo da visão que terá do desenho.

4.2.2 Activity

A aba *Activity* do software permite editar dados relacionados à atividade em todo o edifício, incluindo ocupação, conforto e padrões de equipamentos. Nessa aba, é possível selecionar modelos de atividade predefinidos ou inserir dados diretamente nas caixas de cabeçalho do grupo. Os dados de ocupação incluem o número de pessoas por área útil e os horários de ocupação controlados por um cronograma (*Schedule*).

É possível definir os parâmetros de atividade do edifício ou zona, como taxa metabólica para diferentes níveis de atividade, configurar horários, feriados e suas durações para simulações anuais, se há ou não equipamentos de escritório que influenciam na carga térmica, entre outros. Todas essas variáveis são modeladas automaticamente a partir da escolha de um template da base de dados do software, que contempla vários cenários de prédios diferentes, e tem todas subdivisões possíveis para cada um, como o exemplo de universidade abaixo em que foi escolhido o modelo *Classroom*. Se for necessário alterar alguns parâmetros dentro de um template como este, deve-se criar uma cópia do modelo e editá-lo posteriormente, uma vez que não é possível alterar os templates da base de dados do software.

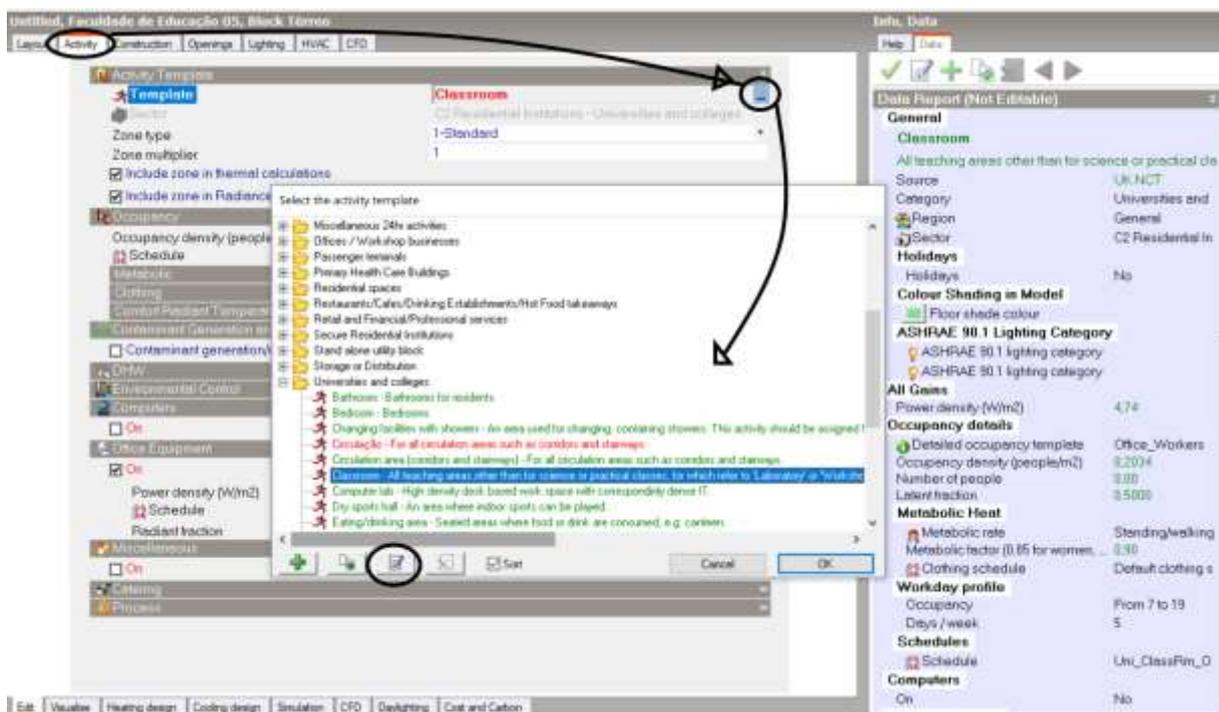


Figura 14. Parâmetros *Activity* Padrão

A parametrização partiu de uma versão padrão do software chamada "*Classroom*" na pasta de *Universities and Colleges* para determinar o uso das salas de aula, a fim de preservar algumas configurações originais, como a densidade ocupacional (pessoas/m²), dias da semana de ocupação, feriados ou demais ganhos energéticos dentro da sala, enquanto se ajustavam variáveis específicas que influenciam no cálculo final.

Para aprimorar a precisão da simulação, o modelo genérico denominado "*Classroom*" foi duplicado e renomeado para "Sala de Aula FE", no qual foram

implementadas modificações específicas para adaptá-lo ao contexto brasileiro. Essas alterações incluíram a inserção de feriados nacionais no calendário, a configuração de um perfil horário que reflete a realidade operacional local, além da inclusão detalhada da quantidade de equipamentos eletrônicos, como computadores, e a determinação das horas de operação reais da sala de aula.

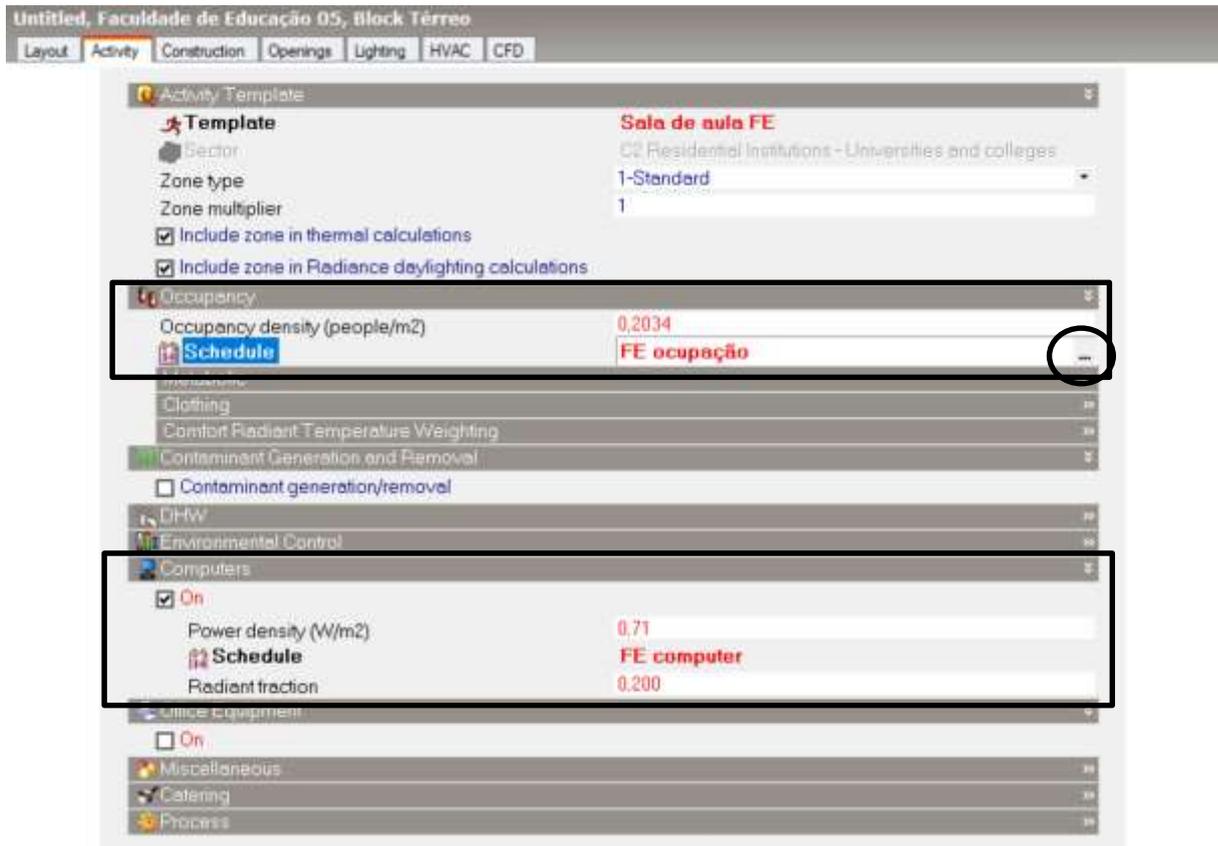


Figura 15. Alterando Parâmetros *Activity*

Das alterações deste modelo, destaca-se a habilitação dos computadores, em que se definiu a densidade de potência considerando 1 computador comum (50W) ligado em cada sala, de área 69,75 m².

$$Densidade\ de\ Potência\ Computer = \frac{50W}{69,75\ m^2} = 0,71\ W/m^2 \quad [3]$$

Para a outra alteração, recorreu-se a uma análise dos horários baseada nos relatórios acadêmicos das salas de aula, nos quais contém sua grade horária semestral e detalham os períodos semanais ocupados por turmas em cada sala. Tal levantamento resultou na média de 49h de uso semanal por sala, chegando à aproximadamente 10h por dia útil na semana.

Sala	Horas Semanais	Média por dia útil (5)
Lab Cien.	24	4,8
SALA 04	56	11,2
SALA 05	52	10,4
SALA 06	56	11,2
SALA 07	48	9,6
SALA 08	52	10,4
SALA 09	44	8,8
SALA 10	52	10,4
SALA 11	56	11,2
Média	48,9	9,8

Tabela 3: Levantamento grade horária das salas de aula

Baseado neste levantamento foi possível criar um novo template de cronograma de ocupação chamado “FE ocupação”, no qual é possível selecionar os meses, dias e horas de ocupação do prédio. Quanto às outras áreas do prédio, selecionaram-se perfis genéricos da base de dados do *Design Builder*, optando-se pelas configurações que melhor representam o uso energético de cada espaço, como área de circulação, banheiros, cantina e auditório.

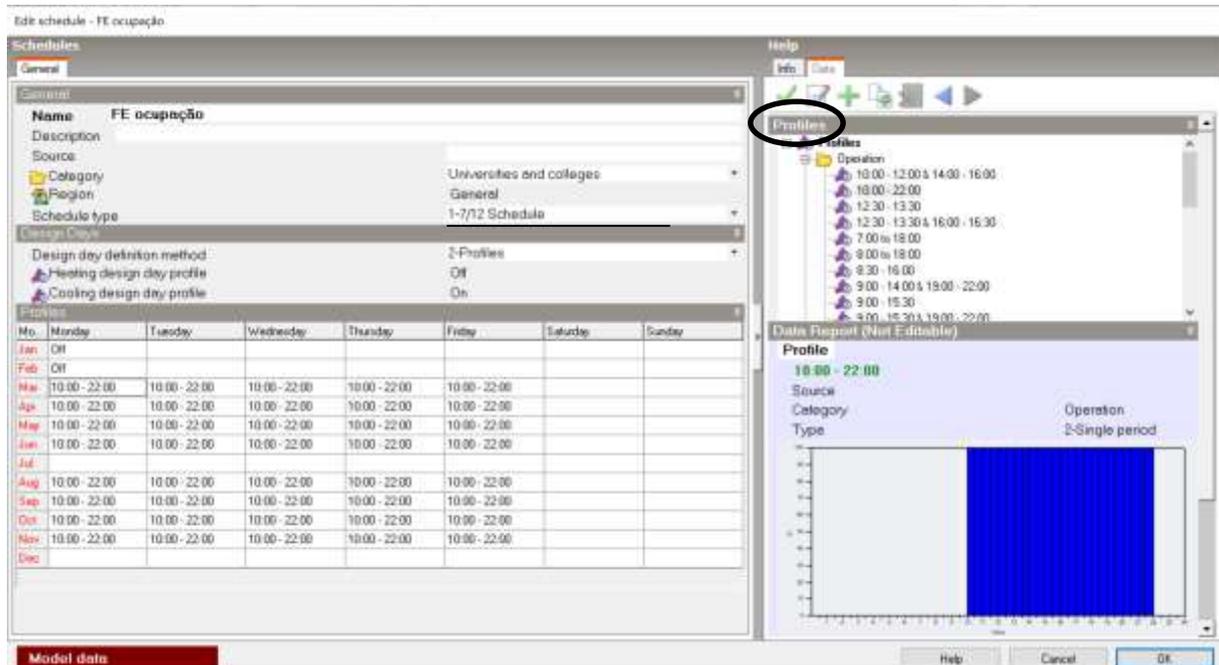


Figura 16. Alterando Parâmetros Schedule

Voltando para a aba do *Layout*, pode-se ver que cada perfil de atividade escolhido para cada ambiente/zona desenhado tem uma cor diferente referenciada

na legenda. Isso também pode ser alterado na hora de criar o perfil de atividade.

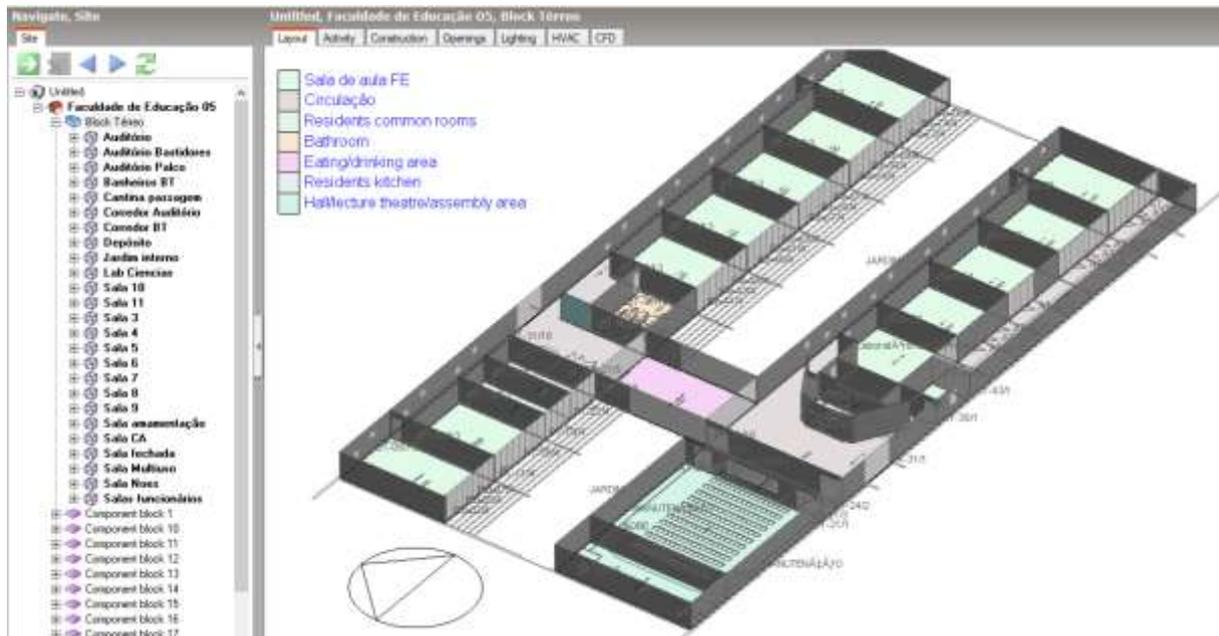


Figura 17. Diferentes ambientes do bloco

4.2.3 Openings

A parametrização das aberturas da edificação é feita na aba *openings*, onde são inseridas as características e medidas de portas e janelas. O Design Builder quando cria uma nova edificação, coloca geração automática em todas as paredes. Deve-se mudar isso alterando as configurações da maneira a seguir:



Figura 18. Parâmetros *Openings* sem janelas

Seguindo com a parametrização, as portas e janelas podem ser inseridas ao clicar nos ícones referentes a eles que aparecem quando se seleciona uma parede na árvore de dados. A aba de informação e ajuda ao selecionar a parede oferece as opções que tem nos ícones e uma legenda com a cor da linha de cada tipo abertura

criada para diferenciar cada uma.

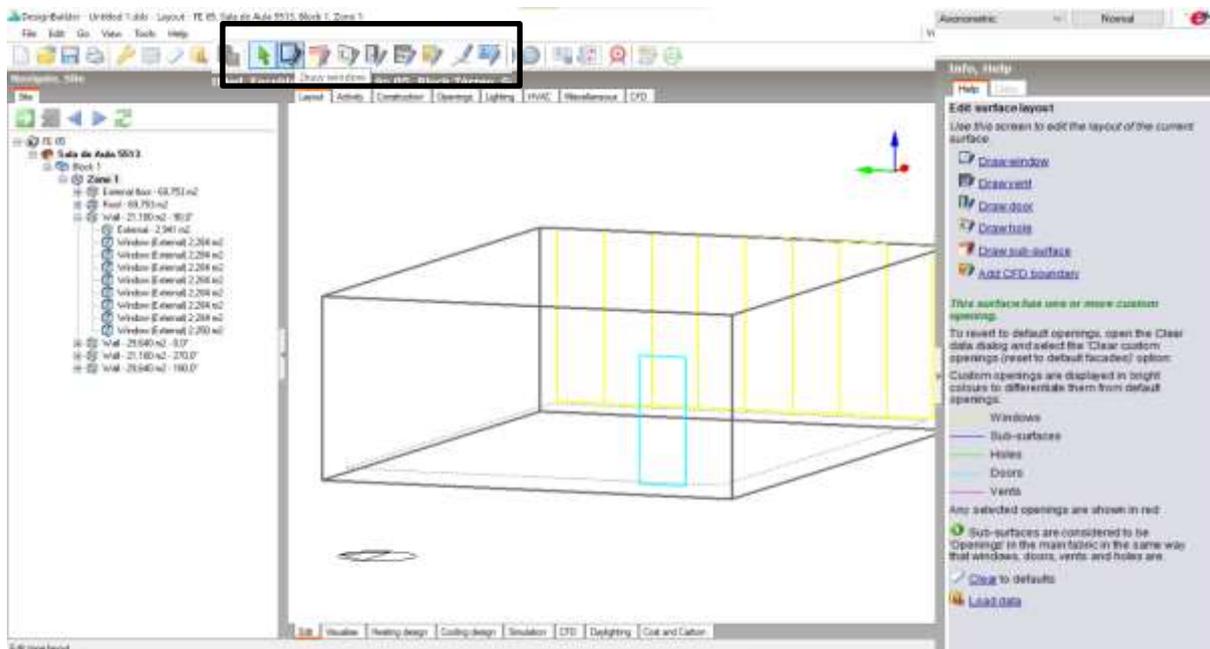


Figura 19. Draw Openings

Dentro da interface do *Design Builder*, a aba "Openings" permite a configuração detalhada de elementos como portas, janelas, sistemas de envidraçamento, ventilação e fachadas. Para a modelagem termoenergética do edifício em estudo, foram desenvolvidos dois modelos distintos de janelas: um aplicável às aberturas nas fachadas externas e outro especificamente projetado para as salas de aula. O modelo para as salas de aula foi elaborado com esquadrias de alumínio, vidros duplos transparentes e suas respectivas dimensões, conforme ilustrado na figura 6.

Essa abordagem visa refletir com a maior fidelidade possível as características físicas das janelas, garantindo a precisão da simulação. Posteriormente, o tipo de vidro pode ser alterado para modelar os ganhos solares pelas janelas da edificação, dado que pode ser observado no *output* de resultados.

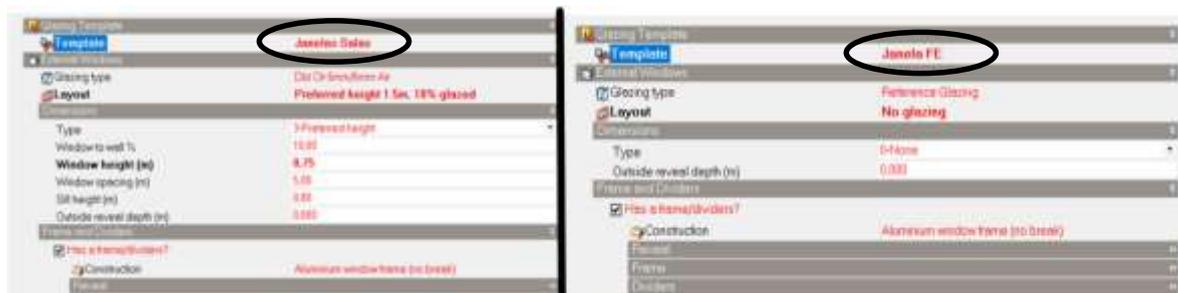


Figura 20. Parâmetros Janelas

4.2.4 Construction

A composição das paredes, chão e teto do edifício da simulação também é um parâmetro a ser observado, pois tem impacto significativo na análise energética. Esse parâmetro pode ser modificado na aba *Construction*, criando um template novo assim como nos outros parâmetros, e o modificando para construção de todo o edifício. Clicando no “+”, pode-se adicionar o novo template de material para as paredes externas e modela-lo de acordo com as características do prédio. O mesmo pode ser feito para a laje, e paredes internas caso sejam diferentes.

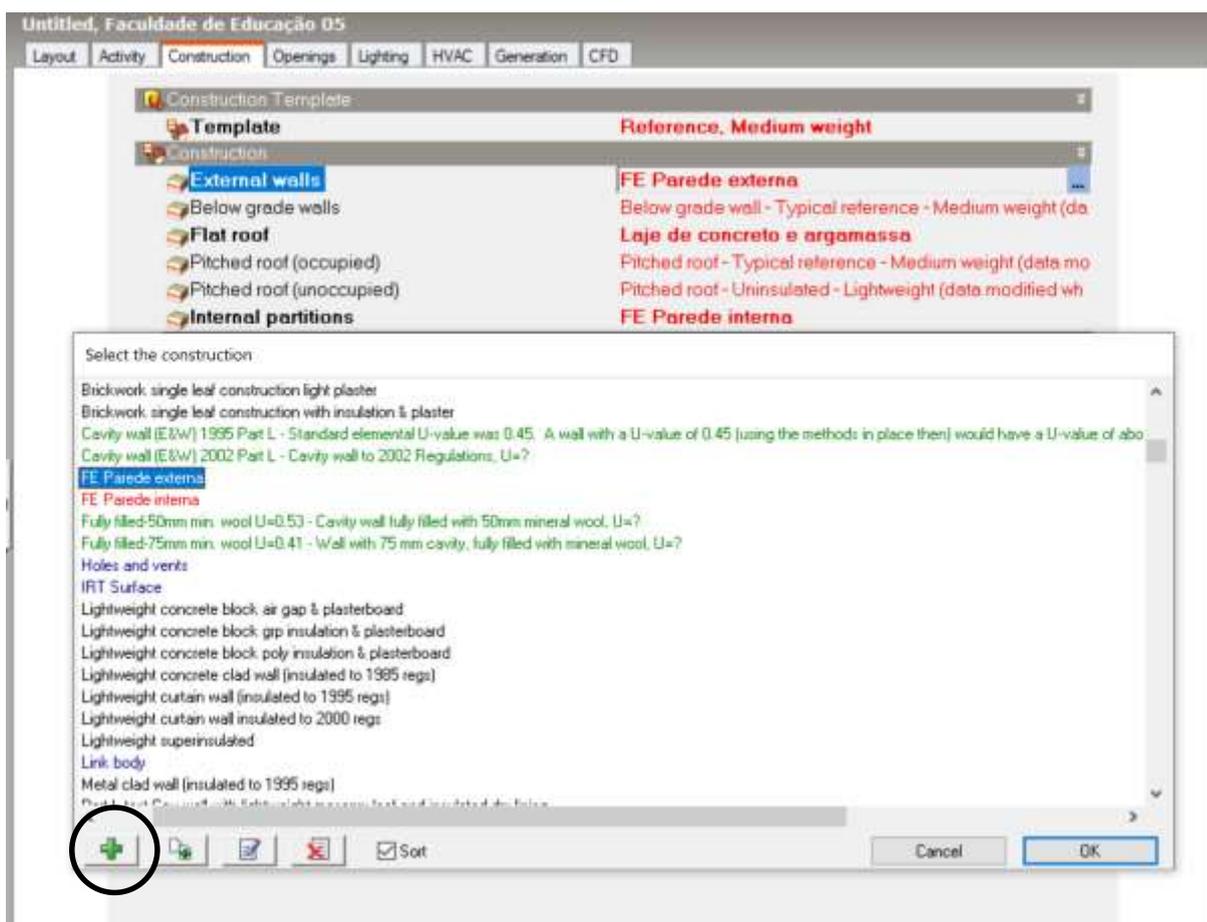


Figura 21. Criando template *Construction*

O template da parede desenvolvida para a FE foi baseado em um estudo do LAB EEE da UFSC, no qual fizeram modelos equivalentes de paredes de prédios considerando seus componentes construtivos para inserção no *Energy Plus*. O modelo que mais se assemelha com as características construtivas da FE está na tabela abaixo, onde modelando os materiais conseguiu-se chegar no mesmo valor de transmitância térmica no *Design Builder*.

Revestimento	Composição	e (cm)	λ (W/m°C)	ρ (kg/m³)	c (kJ/kgK)	Rt (m²°C/W)	Ut (W/m²°C)	Ct (kJ/m²°C)
Argamassa interna e externa	Argamassa interna	2,50	1,15	2000	1,00	0,022	2,68	272
	Concreto	3,00	1,75	2400	1,00	0,017		
	Câmara de Ar	8,00	0,636	-	-	0,126		
	Concreto	3,00	1,75	2400	1,00	0,017		
	Argamassa externa	2,50	1,15	2000	1,00	0,022		

Figura 22. Estudo UFSC – Modelo equivalente à parede

The screenshot displays the 'Edit construction - FE Parede externa' window. The 'Layers' section is expanded, showing the following layers from outermost to innermost:

- Layer 1: Material FE Argamassa, Thickness 0.0100 m
- Layer 2: Material FE Concreto, Thickness 0.1000 m
- Layer 3: Material FE ar, Thickness 0.0300 m
- Layer 4: Material FE Concreto, Thickness 0.1000 m
- Layer 5 (Innermost): Material FE Argamassa, Thickness 0.0100 m

The 'Outer surface' section on the right shows the following parameters:

- Convective heat transfer coefficient: 2.152
- Radiative heat transfer coefficient: 5.540
- Surface resistance (m²K/W): 0.130
- Convective heat transfer coefficient: 19.070
- Radiative heat transfer coefficient: 5.130
- Surface resistance (m²K/W): 0.040
- U-Value surface to surface (W/m²K): 4.902
- R-Value (m²K/W): 0.374
- U-Value (W/m²K): 2.674

Figura 23. Parâmetros Construction

Da mesma forma, foi definido um modelo para laje na opção *Flat Roof*, com 20cm de concreto e 1,5cm de argamassa, podendo adicionar essa opção de mais um material na parede colocando mais um “*Layer*”, onde pode-se compactar até 10 materiais juntos. O software também traz uma ilustração de como ficará a estrutura, e calcula as características térmica da combinação de materiais escolhidos, que no caso da laje obteve-se transmitância térmica de 2,82 W/m²K.

4.2.5 Lighting

Os padrões de iluminação do edifício também são importantemente editáveis. Na aba *Lighting* pode-se fazer uma seleção genérica da lista de modelos de iluminação, carregando os dados do modelo selecionado, ou abrir as caixas de opções e inserir os dados manualmente. Da mesma forma que para os parâmetros anteriores, foi criado um novo modelo, atendendo as especificações do projeto.

Nesse contexto, definiu-se a Densidade de Potência de acordo com a equação a seguir:

$$\text{Densidade de Potência} = \frac{Q \cdot P}{A} \quad [\text{W/m}^2] \quad [2]$$

Onde,

Q = Quantidade de Lâmpadas

P = Potência das Lâmpadas [W]

A = Área [m]

Um template para o consumo luminotécnico foi criado, alterando a densidade de potência, a *Schedule* que define o cronograma de consumo da unidade (para este foi criado um modelo configurado de acordo com os dados levantados nos relatórios de grade horária das salas (10 horas diárias em média), considerando duas horas de lâmpadas apagadas para almoço e intervalos) e o tipo de luminária. Para os demais ambientes foram escolhidos templates do software.



Figura 24. Parâmetros Lighting

4.2.6 HVAC

Por fim, o último parâmetro a ser observado é o sistema de ar condicionados. Será dado como entrada principal neste sistema, o indicador COP (Coeficiente de Performance), que é uma relação entre a capacidade de refrigeração do aparelho pela energia que ele consome para gerar essa capacidade. Baseada nos dados da

tabela 1, inseriu-se os coeficientes de cada sala utilizando os cálculos da equação 1 para cada uma. Além disso, é possível escolher o tipo de ar condicionado (*Split* ou *fresh air*) e definir se há ou não ventilação natural na sala. As salas de aula são simuladas apenas com a opção *Cooling* marcada, referente ao ar condicionado, enquanto áreas de circulação e a cantina são ambientes que não tem ar condicionado, e sim ventilação natural, logo essa é a única opção marcada.

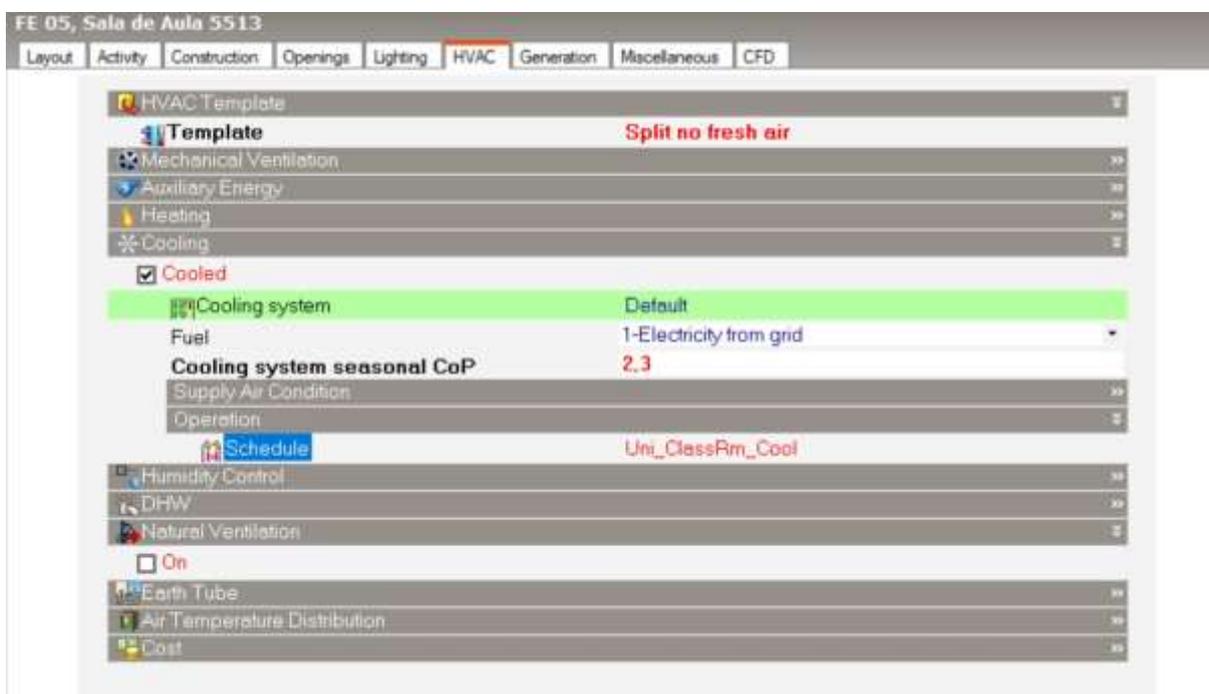


Figura 25. Parâmetros HVAC

4.2.7 Árvores

Outro cenário simulado no *Design Builder* foi o impacto que as árvores têm na carga térmica do prédio. Para desenhar ás árvores foi construído um novo bloco do lado de fora do prédio utilizando a ferramenta *Component Block*, mostrado na figura 11. Alterando a forma do perímetro do bloco para circular, pode-se inserir um raio e uma altura para fazer o tronco, e alterando a forma para domo, pode-se fazer o restante da árvore, como pode-se ver na figura 26.

As medidas das árvores foram medidas usando a ferramenta do Google Earth, onde pode-se medir distâncias reais no mapa, como mostra a imagem abaixo:

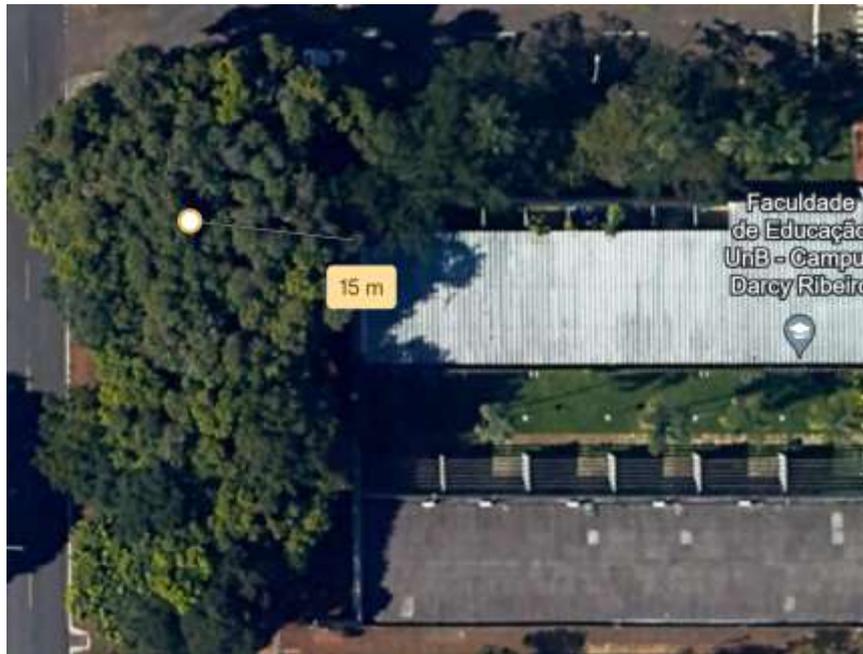


Figura 26. Ferramenta Google Earth

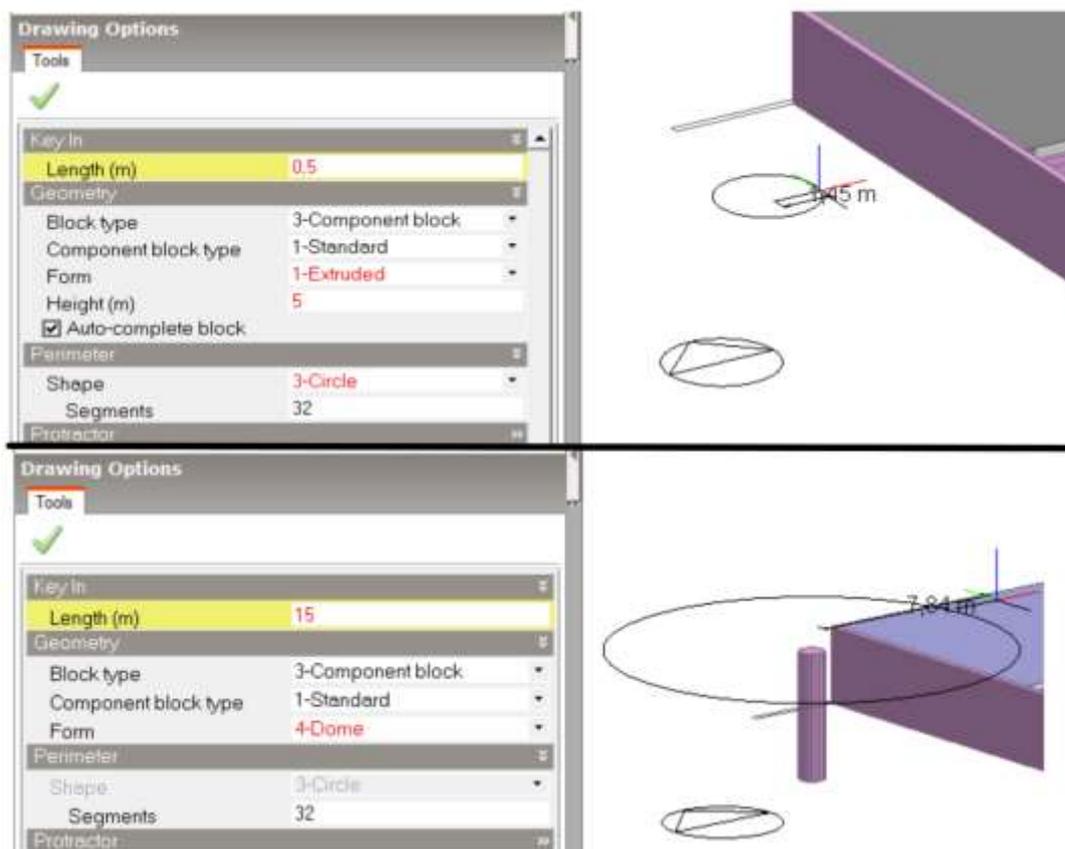


Figura 27. Criando Árvore

Uma vez que todos os parâmetros do edifício foram inseridos, é possível visualizar o modelo pronto na visão renderizada do prédio completo de acordo com os parâmetros inseridos:

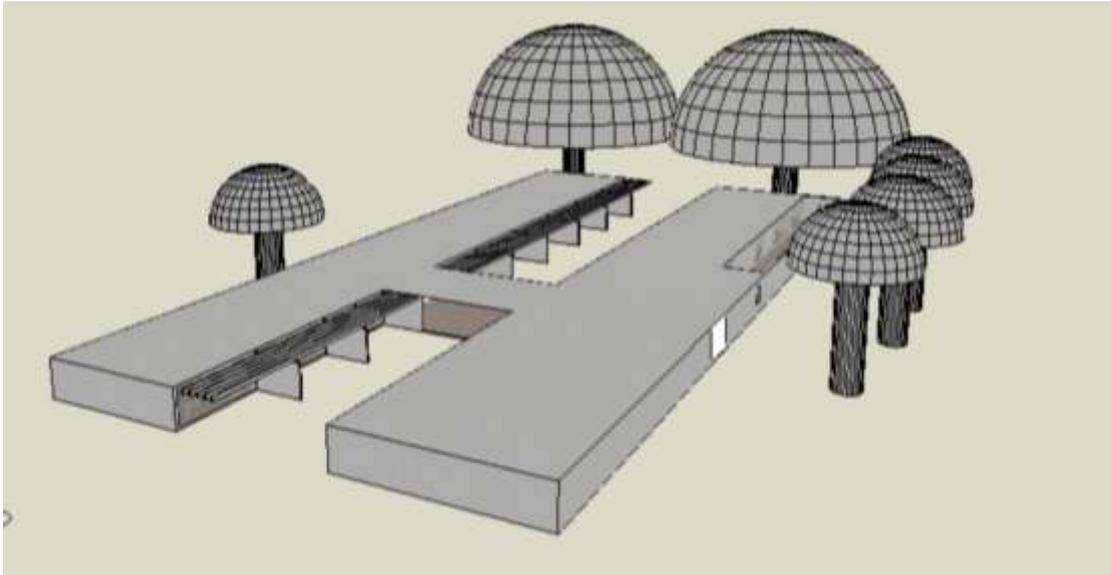


Figura 28. Visão renderizada

Após isso, a simulação pode ser executada para análise dos resultados na aba *Simulation*, seguindo o passo a passo a seguir:

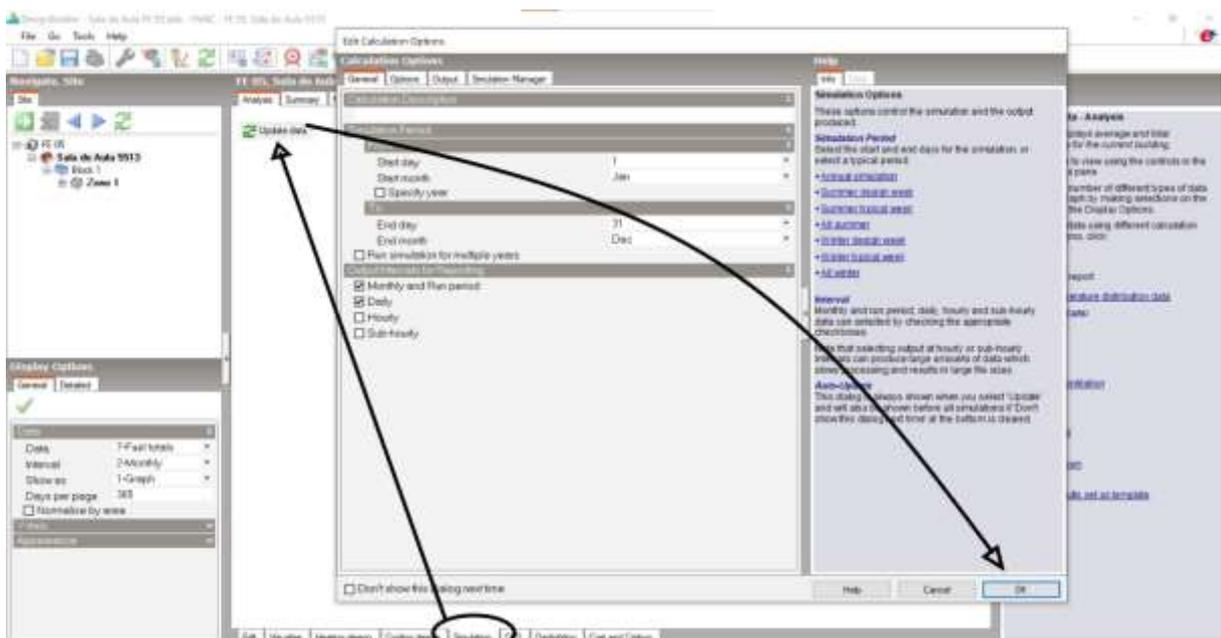


Figura 29. Executar Simulação

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise cenário Atual: Ex-Ante

Os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia de simulação computacional descrita no Tópico 4.2 estarão no capítulo a seguir. Com a modelagem

do prédio da Faculdade de Educação da Universidade de Brasília (UnB) devidamente concluída, a simulação encontra-se pronta para gerar os resultados do consumo energético do edifício.

Por meio dessa abordagem, é possível analisar em detalhes o comportamento termoenergético do espaço estudado, identificando padrões de consumo e estimando o desempenho energético da edificação. Diante disso, apresenta-se no primeiro gráfico a seguir o perfil de consumo energético mensal com os parâmetros utilizados, totalizando 228.065 kWh anuais. Nota-se a uma queda significativa principalmente no mês de junho até julho. Isso se deve ao perfil de sala de aula extraído da base de dados do software, onde é levado em conta o período de férias.

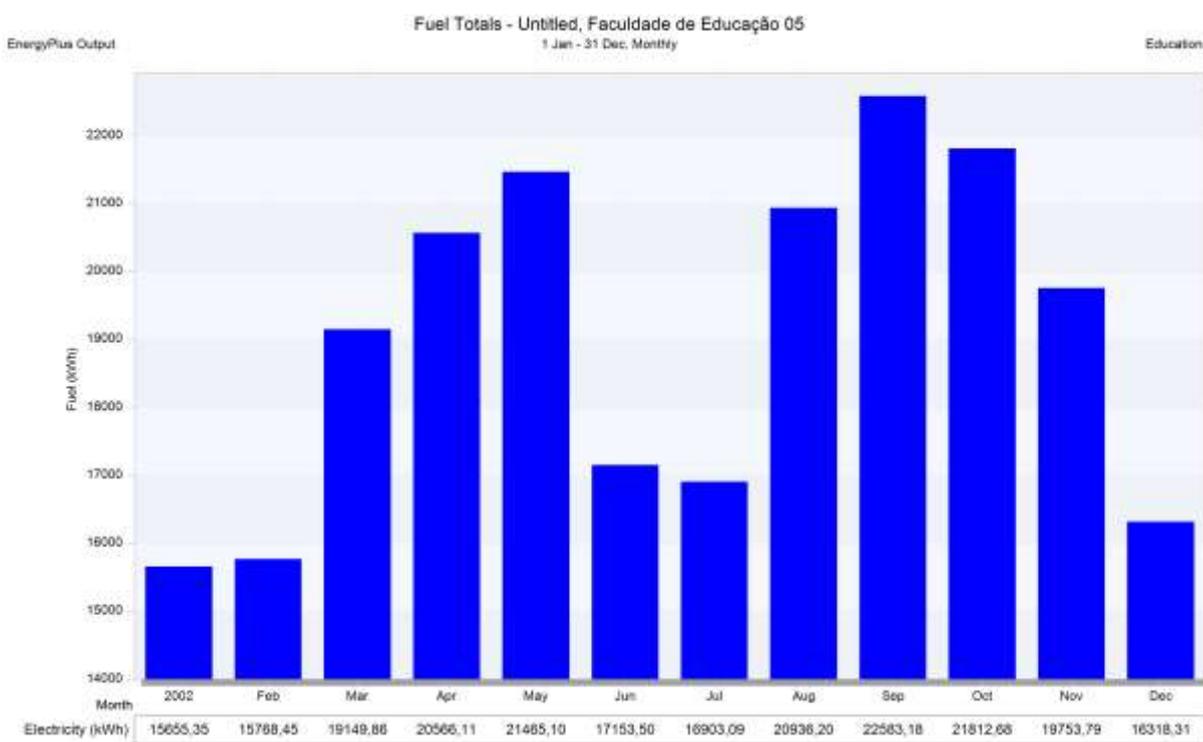


Gráfico 01. Consumo mensal FE Ex-ante

Além dessa representação gráfica do consumo total do ambiente durante o ano, pode-se extrair dados detalhados como o apresentado no gráfico abaixo, que segmenta o consumo energético por suas principais fontes específicas: iluminação interna, sistema de refrigeração, consumo elétrico geral dos ambientes e iluminação externa. Este gráfico facilita a análise detalhada do consumo energético, permitindo identificar áreas onde a eficiência pode ser otimizada.

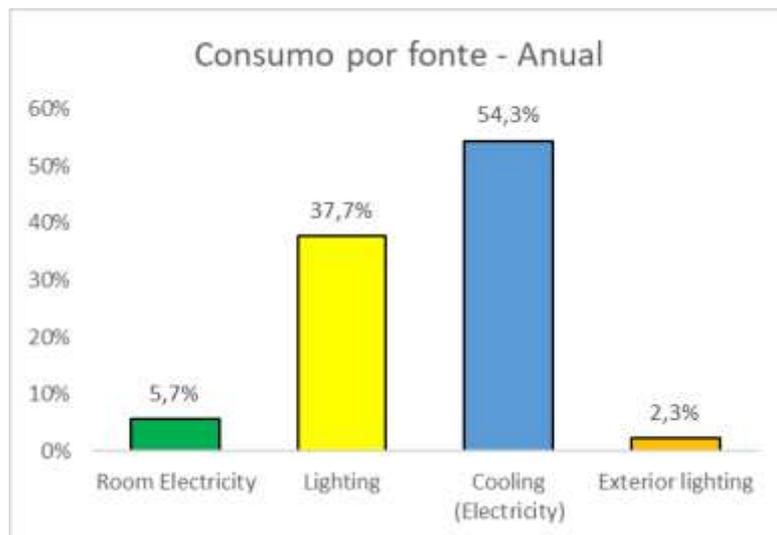


Gráfico 02. Consumo por fonte anualizado

Por fim, vale ressaltar que na simulação termoenergética realizada no *Design Builder*, o foco é a análise de consumo energético mantendo determinado conforto térmico. Observou-se que os dados relativos à temperatura do ar se mostraram constantes ao longo dos cenários simulados. Isso conduz à estratégia do software de fixar a temperatura ambiente em um nível adequado, ajustando o consumo do sistema de ar condicionado conforme necessário, em resposta às variações de outros parâmetros operacionais. Esta abordagem alinha-se com o conceito de eficiência energética, que visa a redução do consumo energético, buscando minimizar o consumo de energia ao mesmo tempo que preserva o conforto ambiental.

Dessa forma, pode-se obter gráficos abrindo as variáveis que estão impactando o conforto térmico do ambiente, para a partir daí poder modela-las a fim de reduzir o consumo do AC:

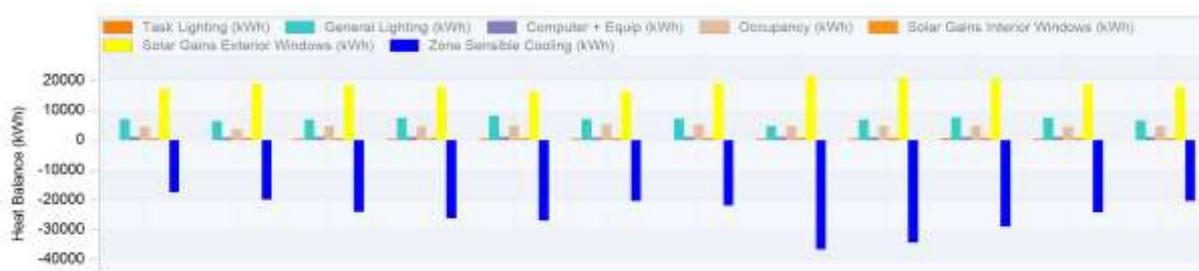


Gráfico 03. Balanço Térmico ex-ante

5.2 Análise das ações de eficiência energética propostas

5.2.1 Retrofit do sistema de iluminação e circuitos elétricos

Nas simulações realizadas para avaliação do desempenho energético do edifício, adotou-se como cenário futuro a completa substituição das lâmpadas existentes por lâmpadas de tecnologia LED. Este cenário é projetado com base na iniciativa em andamento pela NeoEnergia, que está no processo de substituir progressivamente as lâmpadas fluorescentes do edifício por modelos LED, visando uma maior eficiência energética. A previsão é de que, ao final deste processo, todas as luminárias do prédio estarão equipadas com LEDs.

Para contextualizar e avaliar o impacto dessa mudança, além do cenário futuro com a totalidade das lâmpadas em LED, será simulado um cenário ex-ante, representando o estado atual do edifício com lâmpadas fluorescentes ainda presentes. Essa comparação entre os cenários ex-ante (com lâmpadas fluorescentes) e pós-ação (com lâmpadas LED) possibilitará uma análise quantitativa dos benefícios trazidos pela substituição em termos de redução do consumo de energia elétrica e melhoria na eficiência energética global do prédio.

A simulação dos dois cenários dos modelos de lâmpadas, LED 18W e fluorescentes de 40W resultou em um aumento significativo no consumo do edifício. Este incremento no consumo energético é claramente demonstrado nos gráficos, refletindo o impacto negativo de 66% em média no uso de energia em comparação com o cenário que utilizava lâmpadas LEDs. Isso mostra que essa é uma das principais AEE a ser feita quando o objetivo for a economia dos kWh. Pode-se perceber também o aumento da parcela de consumo do sistema de iluminação na demanda total, comparando o gráfico 4 com o gráfico 2, onde o fator *Lighting* assume protagonismo no consumo total, subindo sua representatividade de 37,7 para 56,3%.

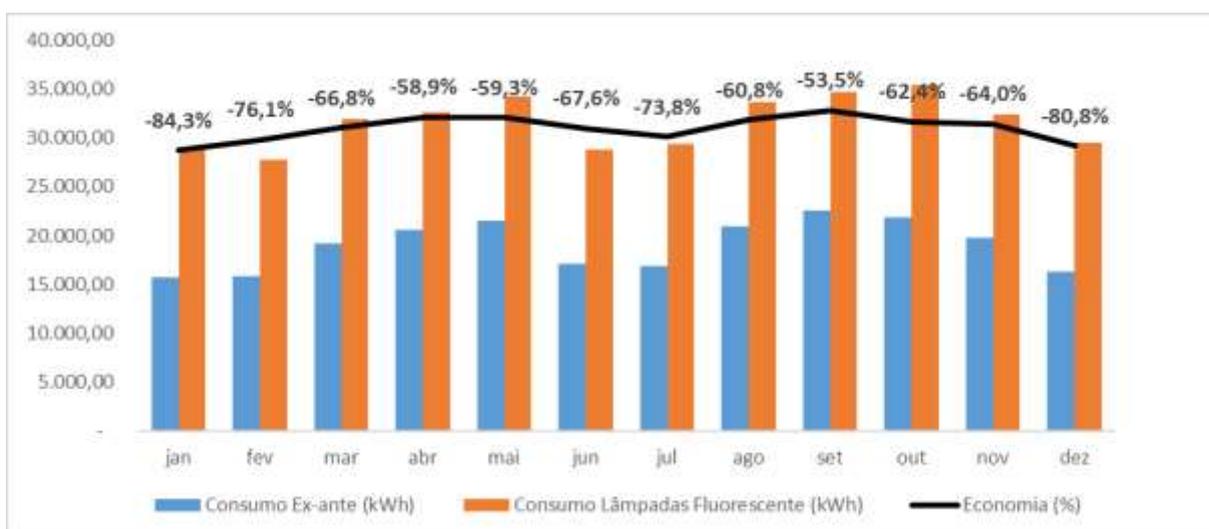


Gráfico 04. Consumo lâmpadas LEDs x Fluorescente

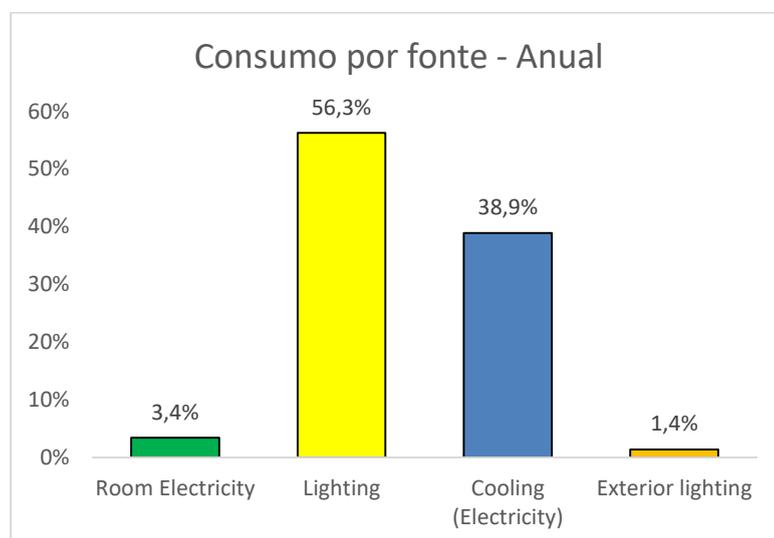


Gráfico 05. Consumo anualizado por fonte com lâmpadas fluorescentes

Além desses fatores, substituição de lâmpadas fluorescentes por LEDs pode ser considerada não apenas pela eficiência luminosa, mas também pelo impacto térmico. A lâmpada fluorescente, ao operar, libera mais calor, o que é evidenciado no balanço térmico do edifício. Com a utilização da fluorescente, os ganhos de calor interno devido à iluminação aumentam em até 2,57 vezes, exigindo que o sistema de ar condicionado trabalhe 20% mais para manter as condições climáticas ideais.

A outra ação na iluminação consistiu em reconfigurar os circuitos de iluminação para que ficassem alinhados paralelamente às janelas, possibilitando o desligamento das luminárias situadas próximas a essas fontes de luz natural durante o dia. Esta intervenção aproveita a iluminação natural proporcionada pelas amplas janelas, e assume que 25% das lâmpadas — especificamente aquelas mais próximas às janelas — permanecerão desligadas. Tal premissa impactou diretamente na densidade de energia, que é calculada pela quantidade total de lâmpadas ativas, multiplicada pela potência individual e dividida pela área total do ambiente, como mostra a equação 2.

A redução na densidade de energia foi incorporada aos parâmetros da simulação, refletindo uma diminuição no consumo de energia elétrica para iluminação. Os gráficos subsequentes ilustram os resultados dessa alteração, demonstrando o potencial de economia energética gerado por essa medida de eficiência energética e a influência direta sobre o desempenho energético global do edifício. Nota-se que essa mudança traz em média 13% de economia no consumo total do prédio, e visualizando o gráfico 7 percebe-se que a representatividade do gasto energético com

iluminação atinge o menor percentual dentre os cenários.



Gráfico 06. Impacto do retrofit do circuito no consumo mensal

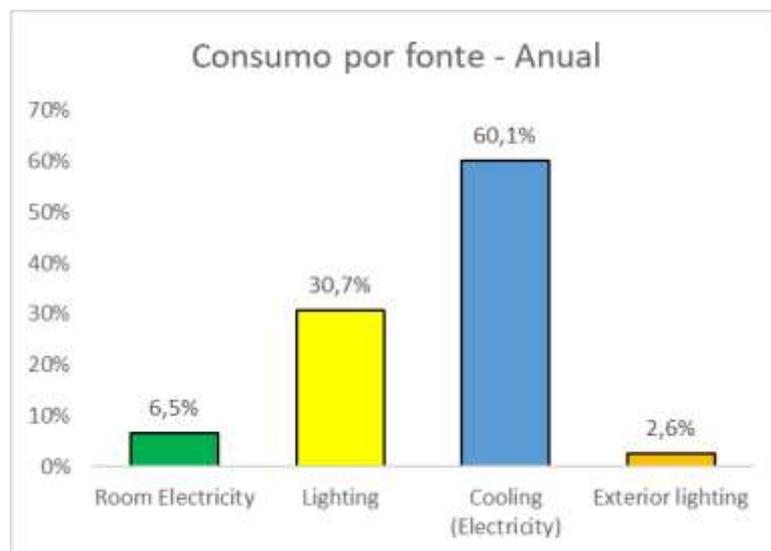


Gráfico 07. Consumo anualizado por fonte ex-post Retrofit circuito

5.2.2 Retrofit do sistema de ar condicionado

A próxima ação validada na simulação foi a troca do aparelho de ar condicionado na sala. Na prática, computacionalmente falando, foi feita uma alteração no Coeficiente de Performance (segundo a norma ASHRAE 90.1, é a razão entre o calor removido do ambiente e a energia consumida, para um sistema completo de refrigeração ou uma porção específica deste sistema sob condições operacionais projetadas.) do equipamento, para que atenda aos requisitos técnicos de qualidade.

Tipo de equipamento	Capacidade	Tipo de aquecimento	Subcategoria ou condição de classificação	Eficiência mínima	Procedimento de teste
Condicionadores de ar resfriados a ar	≥ 19 kW e < 40 kW	Resistência elétrica	Split e unitário	3,28 COP 3,34 ICOP	AHRI 340/360
		Outros	Split e unitário	3,22 COP 3,28 ICOP	
	≥ 40 kW e < 70 kW	Resistência elétrica	Split e unitário	3,22 COP 3,28 ICOP	
		Outros	Split e unitário	3,16 COP 3,22 ICOP	
	≥ 70 kW e < 223 kW	Resistência elétrica	Split e unitário	2,93 COP 2,96 ICOP	
		Outros	Split e unitário	2,87 COP 2,90 ICOP	
	≥ 223 kW	Resistência elétrica	Split e unitário	2,84 COP 2,87 ICOP	
		Outros	Split e unitário	2,78 COP 2,81 ICOP	

Tabela 5: Eficiência mínima de condicionadores de ar para classificação nos níveis A e B
Fonte: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

Cada aparelho de refrigeração foi adequado à eficiência mínima dos condicionadores de ar nível A de acordo com o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, com COP de 3,28. No gráfico abaixo, percebe-se uma economia em torno de 7% ao ano, que pode passar de 8 no período de calor. Ademais, a carga do sistema de refrigeração diminuiu em relação ao cenário ex-ante, representando apenas 50% do consumo total, como mostra o gráfico 9.

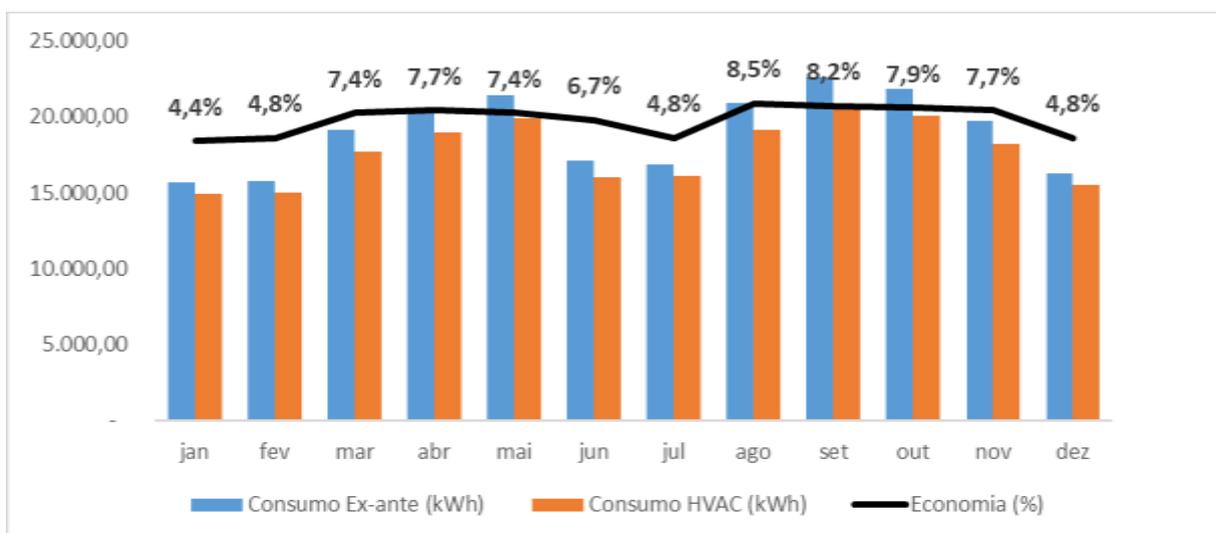


Gráfico 08. Impacto do Retrofit de HVAC no consumo mensal

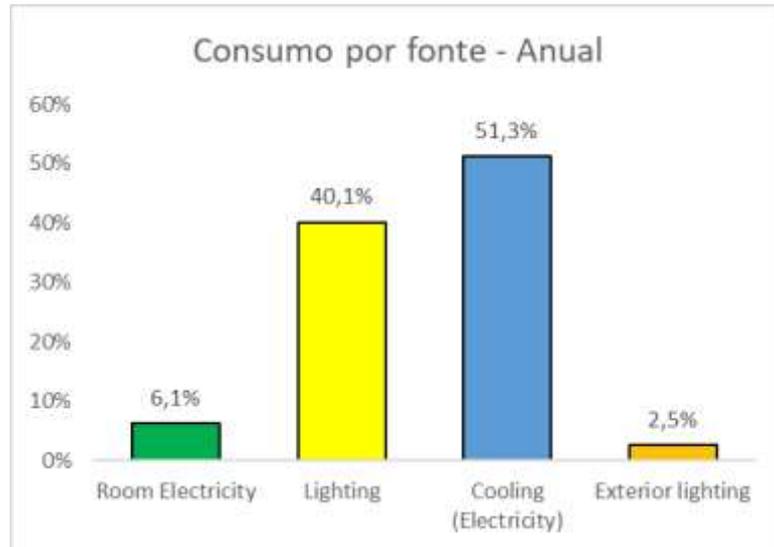


Gráfico 09. Consumo por fonte anual ex-post retrofit HVAC

5.2.3 Películas

Essa ação de eficiência energética proposta para o edifício consistiu em aplicar de películas nos vidros das janelas, com objetivo principal reduzir a incidência de radiação solar direta nos ambientes internos e, conseqüentemente, melhorar o conforto térmico nas salas. Esta intervenção é particularmente relevante em edificações com amplas áreas envidraçadas, onde o ganho solar pode contribuir significativamente para o aumento da carga térmica interna, exigindo maior esforço dos sistemas de climatização para manter condições confortáveis.

Embora a análise dos gráficos resultantes das simulações tenha indicado uma redução de apenas 3% em média no consumo global de energia elétrica do prédio, é importante destacar que houve uma diminuição notável nos ganhos solares através das janelas. Esta redução indicada no gráfico 11, de 36,6%, é um indicativo de que a carga térmica interna, devido à radiação solar, foi efetivamente atenuada pela aplicação das novas películas.

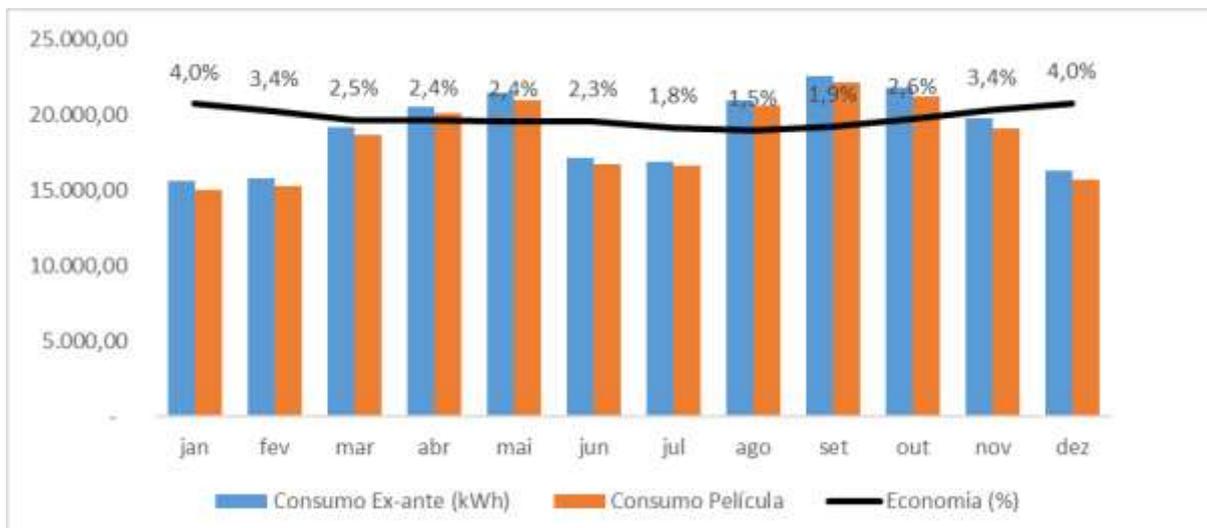


Gráfico 10. Impacto das películas no consumo mensal

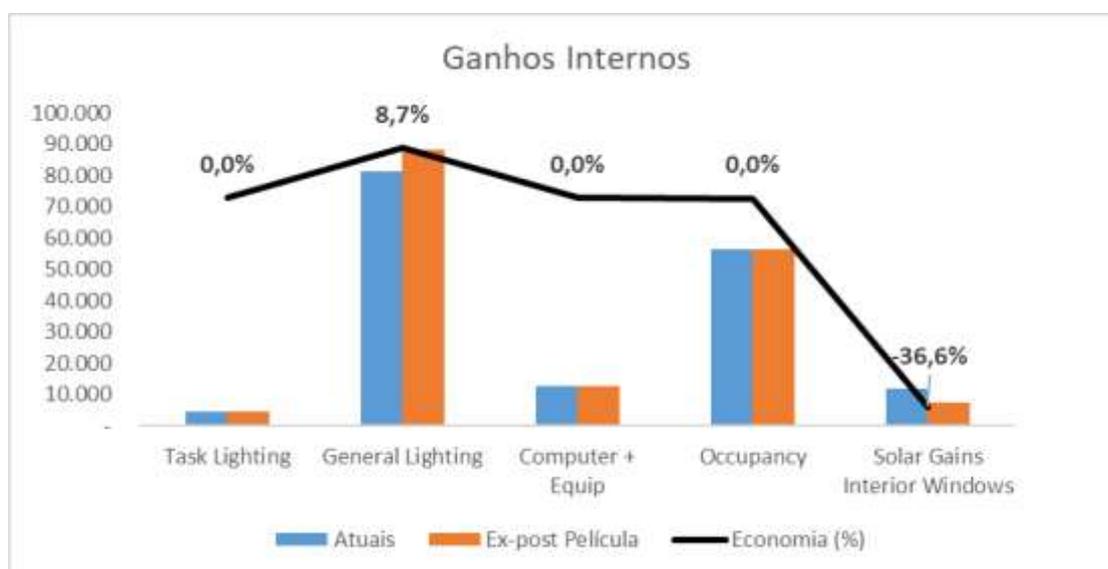


Gráfico 11. Ganhos internos Ex-Post película

5.2.4 Arborização

A influência das árvores no microclima de edificações é um fator significativo na dinâmica térmica de um prédio. A análise das simulações revelou que a vegetação circundante pode contribuir para a redução da carga térmica, particularmente nas áreas que beneficiam do sombreamento natural. Este efeito é mais notável nas salas situadas nas extremidades do edifício, onde as árvores proporcionam uma barreira natural contra a radiação solar direta, especialmente em períodos de maior incidência. A análise dos cenários com e sem a presença de árvores oferece *insights* sobre a eficácia do sombreamento natural como estratégia de eficiência energética,

permitindo a identificação de soluções mais sustentáveis e economicamente viáveis para a gestão térmica de ambientes construídos.

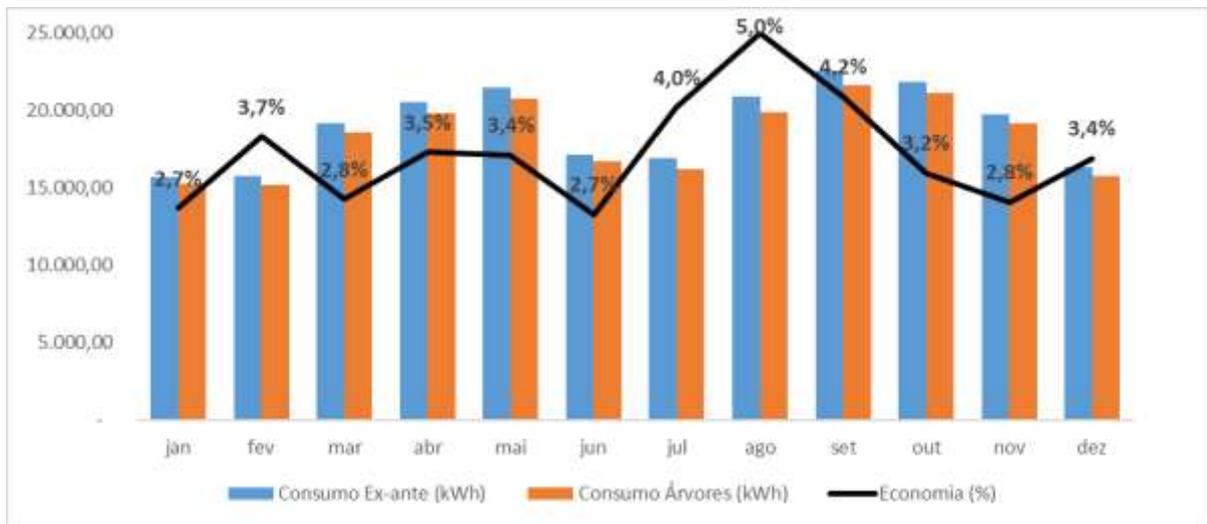


Gráfico 12. Impacto da arborização no consumo mensal

Assim como na simulação das películas, o impacto das árvores no consumo variando entre 3 e 4% de economia não chega a ser tão significativo em relação às outras medidas propostas anteriormente. Porém, percebe-se uma redução significativa no ganho térmico pelas janelas, trazendo maior conforto para o ambiente e diminuindo a demanda do Ar condicionado.

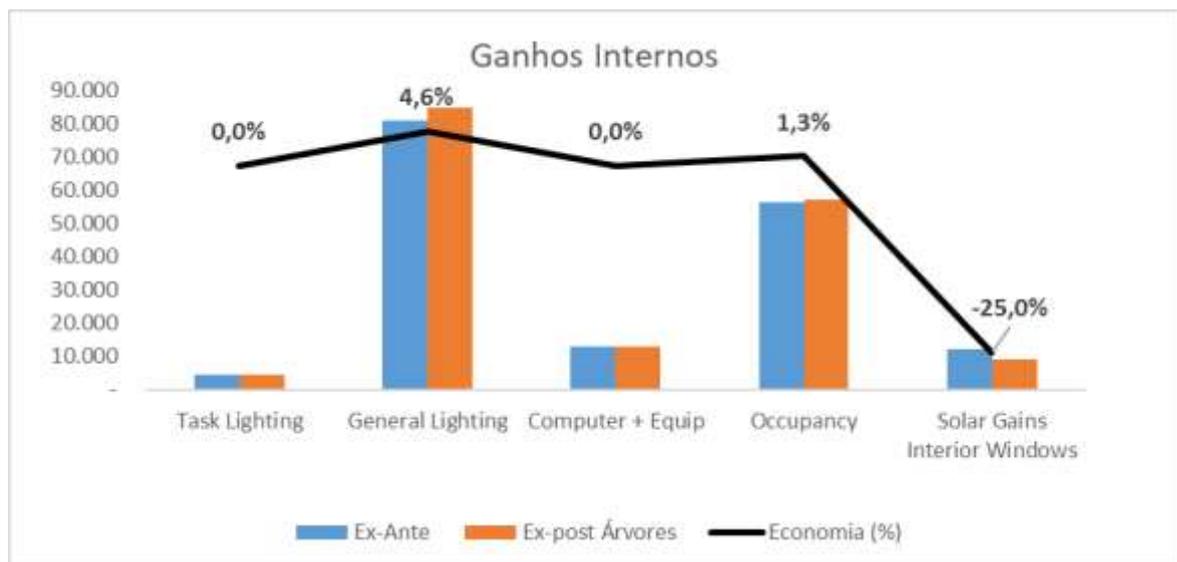


Gráfico 13. Ganhos internos Ex-Post Arborização

5.2.5 Implantação de todas AEEs

A análise integrada das ações de eficiência energética propostas, as quais abrangem o *retrofit* dos circuitos elétricos, a atualização dos sistemas de ar condicionado para modelos com melhor Coeficiente de Desempenho (COP), a aplicação de películas reflexivas e a estratégica arborização do entorno, revela o potencial coletivo dessas ações para a redução do consumo energético do edifício. A simulação conjunta dessas medidas fornece uma visão holística do impacto das ações na performance energética, evidenciando as características e impactos entre as diferentes estratégias. Os dados resultantes das simulações são demonstrados nos gráficos e tabelas subsequentes, detalhando as economias de energia efetivadas ao longo do ano e destacando a eficácia combinada das ações implementadas.

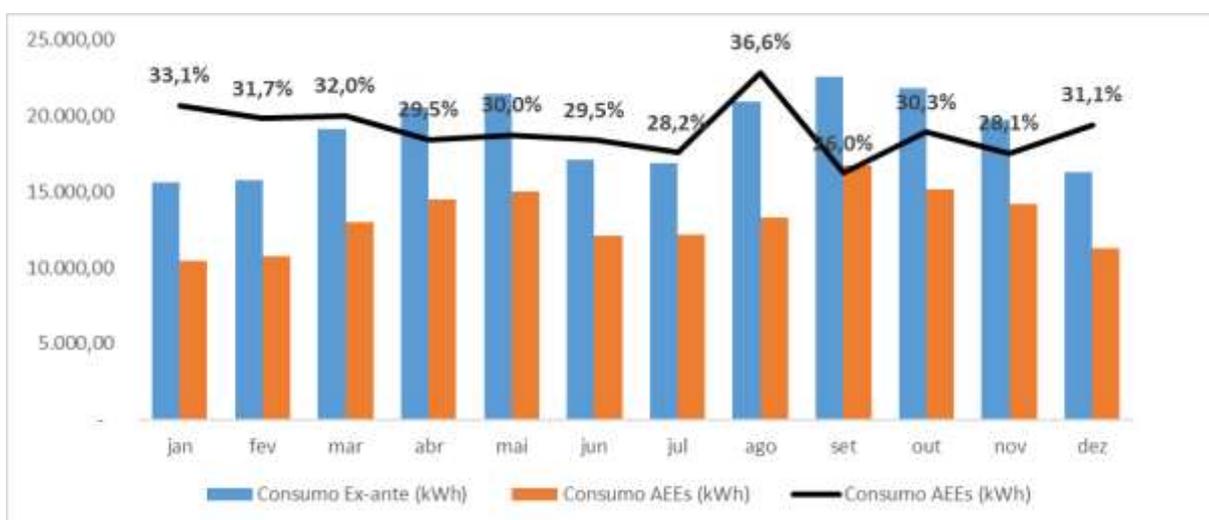


Gráfico 14. Impacto das AEEs no consumo mensal

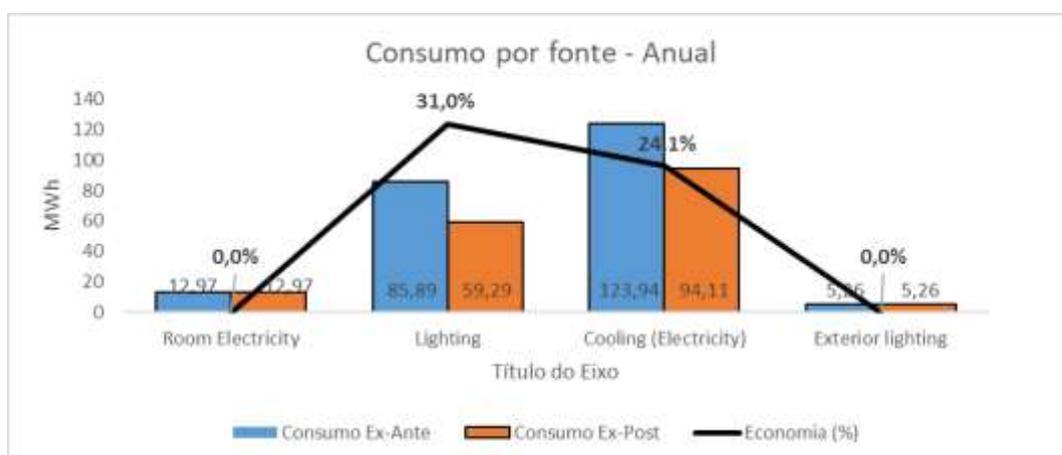


Gráfico 15. Consumo por fonte Anualizado Ex-ante x Ex-Post

5.3 Comparação entre os resultados simulados e a situação atual

O software *Design Builder* oferece uma vantagem significativa ao permitir a importação dos outputs apresentados na forma de gráficos ou planilhas do Excel. Essa funcionalidade possibilita uma análise minuciosa do impacto de cada ação de eficiência energética, comparando-a com a simulação inicial do prédio. Dessa forma, é possível avaliar isoladamente o efeito de cada medida na redução do consumo de energia. A abordagem permite compreender como as ações interagem entre si, identificando sinergias e oportunidades para otimizar o desempenho energético global do edifício. Na tabela abaixo feita no Excel, foram transcritos todos os dados mensais da simulação resumidos em média, soma e percentual do impacto de cada ação, e no gráfico para melhor visualização, o impacto anual de cada ação no consumo da edificação.

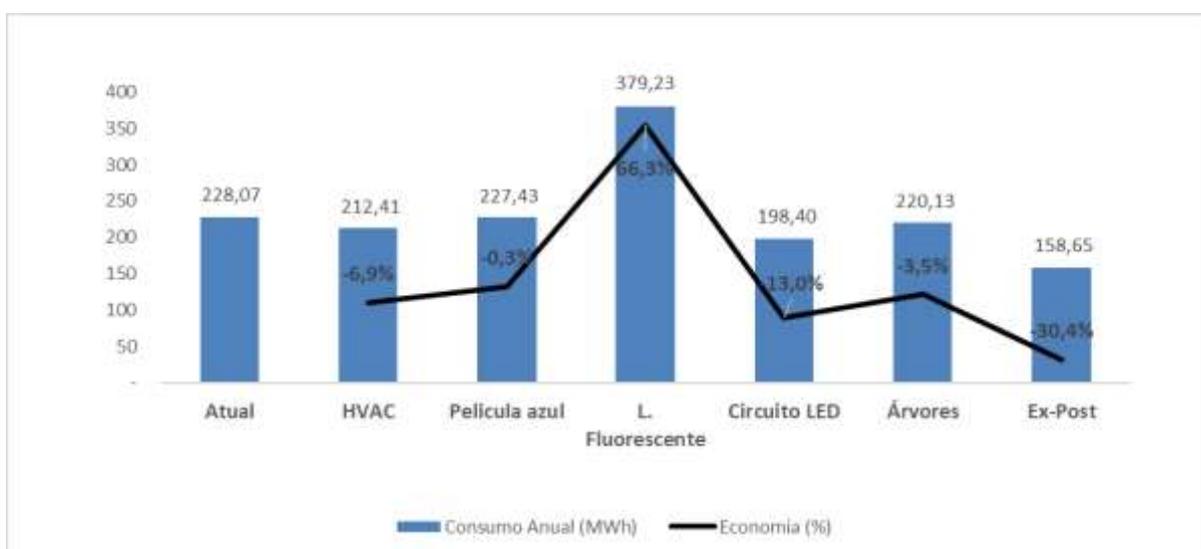


Gráfico 16. Impacto das AEEs no Consumo Anual

Mês	Atual	HVAC	Película azul	L. Fluorescente	Circuito LED	Árvores	Ex-Post
Janeiro	15.655,35	14.960,48	15.615,47	28.857,57	13.185,73	15.226,87	10.471,30
Fevereiro	15.768,45	15.014,73	15.726,93	27.760,52	13.444,57	15.191,41	10.767,63
Março	19.149,86	17.723,72	19.095,74	31.942,71	16.570,24	18.604,31	13.016,93
Abril	20.566,11	18.986,49	20.516,48	32.684,43	17.758,54	19.854,04	14.494,57
Mai	21.465,10	19.886,82	21.409,18	34.201,08	18.202,54	20.729,42	15.021,16
Junho	17.153,50	16.006,96	17.097,82	28.756,31	14.651,13	16.698,23	12.100,02
Julho	16.903,09	16.091,19	16.833,85	29.376,88	14.786,51	16.220,31	12.144,65
Agosto	20.936,20	19.165,72	20.866,16	33.663,21	18.813,36	19.890,86	13.273,37
Setembro	22.583,18	20.731,14	22.520,20	34.669,93	20.538,65	21.639,83	16.709,29
Outubro	21.812,68	20.080,50	21.759,71	35.418,60	19.004,20	21.115,88	15.198,21
Novembro	19.753,79	18.231,38	19.714,27	32.394,92	17.340,68	19.197,26	14.210,65
Dezembro	16.318,31	15.533,82	16.277,91	29.506,17	14.104,43	15.766,16	11.244,61
Média	19.005,47	17.701,08	18.952,81	31.602,69	16.533,38	18.344,55	13.221,03
Soma	228,07	212,41	227,43	379,23	198,40	220,13	158,65
Economia		15,65	0,63	151,17	29,67	7,93	69,41
		-6,9%	-0,3%	66,3%	-13,0%	-3,5%	-30,4%

Tabela 5: Impacto no consumo com as AEE

Da mesma forma, pode-se analisar na tabela a seguir as alterações no conforto da sala com todas as medidas propostas. Percebe-se no gráfico a seguir que o conforto foi mantido, havendo alteração mínima na temperatura e na umidade relativa da sala, assim como evidencia o conceito de eficiência energética da EPE, de obter o mesmo serviço com um consumo inferior.

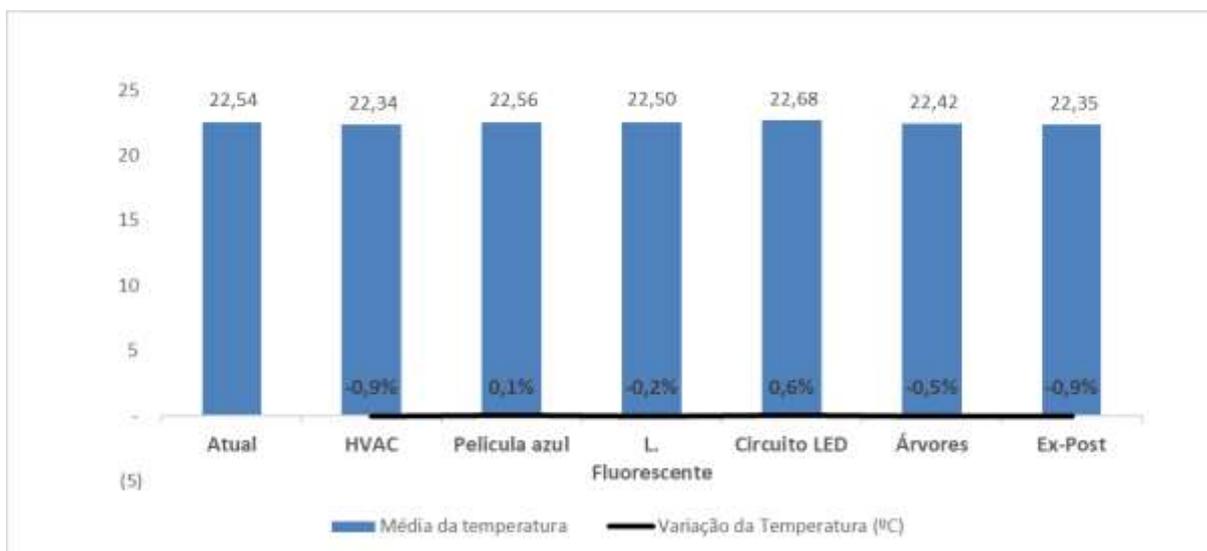


Tabela 5: Impacto no conforto com as AEE

5.4 Impacto das AEEs na implementação de um sistema de geração distribuída

A eficiência energética e a geração distribuída tem uma relação direta quando o assunto é economizar energia. A redução do consumo de energia através de diversas estratégias, como a otimização de sistemas de iluminação e climatização, é fundamental para dimensionar sistemas de geração distribuída, de forma que se obtenha a melhor relação possível na eficácia do consumo versus custo da geração. A geração distribuída, particularmente a fotovoltaica, oferece uma solução renovável para atender às demandas de energia de um edifício.

Neste contexto, a redução do consumo energético mensal alcançada pelas ações de eficiência energética tem um impacto direto no dimensionamento e, conseqüentemente, no custo de implementação de um sistema de geração distribuída. Um consumo energético menor resulta na necessidade de um sistema fotovoltaico de menor capacidade, reduzindo os custos iniciais de instalação e tornando o projeto mais viável financeiramente.

Para ilustrar isso, o estudo de caso da Faculdade de Educação da UnB foi analisado com dimensionamentos fotovoltaicos antes e depois das intervenções de

eficiência energética. O consumo mensal médio do edifício era em média de 19 MWh, para o qual um sistema fotovoltaico de 150 kWp seria adequado. Após a implementação das ações de eficiência energética, observou-se uma redução no consumo mensal para 13,2 MWh, permitindo o redimensionamento do sistema fotovoltaico para 104 kWp. Utilizando o preço atual de instalação de R\$ 3.164,00 por kWp, conforme um projeto recente da empresa CONCEPTU em Brasília, esta redução de dimensionamento traduz-se numa economia de R\$ 144.428,00, diminuindo cerca de 30% do custo inicial do projeto.

Portanto, a análise ressalta a importância da eficiência energética como um passo preliminar antes da instalação de sistemas fotovoltaicos. Investir em eficiência energética permite não apenas uma redução direta no consumo energético, mas também evita o dimensionamento excessivo e desnecessário de sistemas de geração distribuída, maximizando assim o retorno sobre o investimento e contribuindo para uma abordagem mais sustentável e econômica na gestão energética de edifícios.

6. CONCLUSÃO

6.1 Recapitulação dos objetivos e resultados alcançados

Ao longo deste trabalho, o principal objetivo foi desenvolver e documentar uma metodologia utilizando o software *Design Builder* para realizar simulações computacionais de ações de eficiência energética no prédio 05 da Faculdade de Educação da Universidade de Brasília (UnB). Para alcançar esse propósito, foi necessário adquirir conhecimentos específicos sobre o software, o que levou à busca de cursos e treinamentos para familiarização com suas funcionalidades e recursos.

Os resultados alcançados foram apresentados detalhadamente no capítulo anterior, onde as ações de eficiência energética propostas foram simuladas individualmente e em conjunto. Os dados evidenciados nas tabelas e gráficos revelaram o impacto de cada medida na redução do consumo de energia. A troca dos circuitos de iluminação aproveitando a luz natural e o *retrofit* do sistema de refrigeração foram as ações mais benéficas quando analisada separadamente visando a economia de energia.

As ações quanto a adoção de películas e o impacto das árvores no

sombreamento tiveram menor influência no consumo final, porém impactaram positivamente a carga térmica do prédio, reduzindo os ganhos solares pelas janelas. É importante ressaltar que o conforto ambiental foi mantido durante a implementação das ações, seguindo o conceito de eficiência energética preconizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). De acordo com esse conceito, a eficiência energética consiste em consumir menos energia, mas sem comprometer o conforto e a qualidade dos serviços prestados.

Concluindo, as ações propostas em conjunto trouxeram uma melhora significativa no consumo energético e no conforto térmico da edificação. Além disso, foi feita uma análise de como essas ações podem gerar uma economia significativa na implementação de outra ação de eficiência energética, a implementação de geração distribuída no prédio. Esse impacto trouxe uma redução financeira na instalação de energia solar e.

6.2 Contribuições do estudo

Os resultados alcançados demonstraram que a implementação das ações de eficiência energética propostas pode trazer benefícios econômicos substanciais à instituição, como a redução significativa no consumo de energia. A economia de energia obtida através do *retrofit* do sistema de iluminação, *retrofit* do sistema de ar condicionado e adoção de películas nas janelas pode representar uma oportunidade valiosa para a UnB otimizar seus gastos com energia elétrica, direcionando recursos para outras áreas importantes. Ademais, foram simuladas análises de ações que já existem ou já estão em andamento no prédio, a fim de mostrar ao leitor o impacto destas. A análise também abordou como a execução de todas essas ações podem resultar em economias significativas na implementação de um sistema de geração fotovoltaica, reforçando a viabilidade de investimentos em energia renovável.

Além disso, a metodologia desenvolvida para simular as ações de eficiência foi documentada e pode ser usada como uma ferramenta de estudo e análise para outros alunos e pesquisadores interessados em aprofundar seus conhecimentos nessa área, ou até mesmo em outros projetos. A metodologia detalhadamente documentada possibilita a replicação do estudo em outros edifícios e contextos, permitindo que novos projetos de eficiência energética sejam desenvolvidos com maior facilidade e eficácia. A disponibilização dessa metodologia como recurso de pesquisa contribui

para a disseminação do conhecimento e incentiva o avanço dos estudos relacionados à sustentabilidade e eficiência energética nas edificações.

Portanto, as contribuições deste estudo transcendem os limites da Faculdade de Educação, oferecendo um modelo replicável e um recurso educacional valioso para a comunidade acadêmica e profissional interessada em eficiência energética e sustentabilidade em edificações, além das propostas de economia para a universidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGARITA. J.A.C.; VELASCO. L.N.; FILHO. A.L.F.; **Ações de Eficiência Energética Associadas à Geração Distribuída - Estudo de Caso: Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília**. 2ª Edição. Brasília. 2020.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **“Guia de M&V”** 2013. Primeira revisão, Brasília, Brasil.

Efficiency Valuation Organization – EVO. **“Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance Conceitos e Opções para Determinação de economias de Energia e de Água”**. 2012. Volume 1. Canadá.

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA UMA ARQUITETURA SUSTENTÁVEL L. K. S. OLIVEIRA* , R. M. RÊGO, M. N. M. A. FRUTUOSO e S. S. F. B. RODRIGUES

Brasil. **“Lei 9991 de 2000”**. Brasília, Distrito Federal Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9991.htm Acessado em: 22 de Junho de 2023.

Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **“Nota técnica EPE 030/2018. Uso de ar condicionado no setor residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética”**. Brasília. 2018. Disponível em: http://epe.gov.br/sitespt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030_2018_18Dez2018.pdf Acessado em: Junho de 23.

ANEEL. **Repositório de Projetos. Observatório do Programa de Eficiência Energética**. Disponível em: Acesso em: 21 de junho de 2023.

VIANA, F. C. DE A. **Modelagem, simulação e análise de sistemas de condicionamento de ar puramente dessecante, por compressão de vapor e híbrido**. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/12905?locale=pt_BR. Acesso em: 12 jul. 2023.

BIANCA. **Simulação computacional para avaliação de desempenho térmico e eficiência energética em edificações**. Disponível em: <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2021/02/19/simulacao-computacional-para-avaliacao-de-desempenho-termico-e-eficiencia-energetica-em-edificacoes/>. Acesso em: 14 jul. 2023.

GUILHERME, R.; ALVES. **MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL ENGENHARIA DE ENERGIA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UM SISTEMA DE AR COMPRIMIDO** por. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/192799/001088353.pdf?sequence=1>. Acesso em: 22 jul. 2023.

CAROLINA, A.; DEVEZA, P. **ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS DA EFICIÊNCIA**

ENERGÉTICA PARA O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.drhima.poli.ufrj.br/images/documentos/tcc/2016/ana-carolina-peixoto-2016.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2023.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>>.

SCHMIDT, N. L. **Avaliação da medição e verificação de resultados em eficiência energética.** repositorio.unifei.edu.br, 21 fev. 2020.

PREPARADO PARA, R. et al. **AVALIAÇÃO DOS PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DAS CONCESSIONÁRIAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ELETRICIDADE E SUGESTÕES PARA A REVISÃO DA SUA REGULAMENTAÇÃO.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/RelatorioFINAL-ANEEL-WB.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2023.

FERNANDO, G., Rafael. **Avaliação do custo-benefício de medidas de eficiência energética em edificações de segurança pública em Santa Catarina visando retrofit para NZEB.** 2022.

Eficiência Energética nos Edifícios e Sustentabilidade no Ambiente Construído. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://ambeefau.files.wordpress.com/2011/09/eee_sustentabilidade.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2023.

DIAS, R. DE C. F. Eficiência energética e redução do consumo de energia por meio da integração da luz natural e artificial no ambiente de ensino. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 01, n. 04, p. 59–79, 16 abr. 2019.

Consumo nacional de energia tem aumento de 1% em 2017 - Abesco - Eficiência Energética. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/novidade/consumo-nacional-de-energia-tem-aumento-de-1-em-2017/>>. Acesso em: 22 jul. 2023.

SILVA, Caio. **Simulação Termoenergética com o Software Design Builder.** Apresentação realizada em 31 de julho de 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/sef/materiais-disponiveis-para-download/RedEESimulaoTermoenergeticacomSoftwareDesignBuilder.pdf>>

Dificuldades na implementação do design builder no mercado brasileiro – SB16-APP. Disponível em: <<https://sbe16.civil.uminho.pt/app/dificuldades-na-implementacao-do-design-builder-no-mercado-brasileiro/>>. Acesso em: 02 jul. 2023.

Quem é Quem da Eficiência Energética. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/quem-e>>

ANDREIS, C. Influência de fachadas envidraçadas no consumo de energia de um edifício de escritórios em diferentes cidades brasileiras. 2014. 198 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

DIDONÉ, E. L.; PEREIRA, F. O. R. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. Ambiente Construído, v. 10, n. 4, p. 139-154, 2010.

DIDONÉ, E. L.; WAGNER, A.; PEREIRA, F. O. R. Estratégias para edifícios de escritórios energia zero no Brasil com ênfase em BIPV. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 27-42, jul./set. 2014.