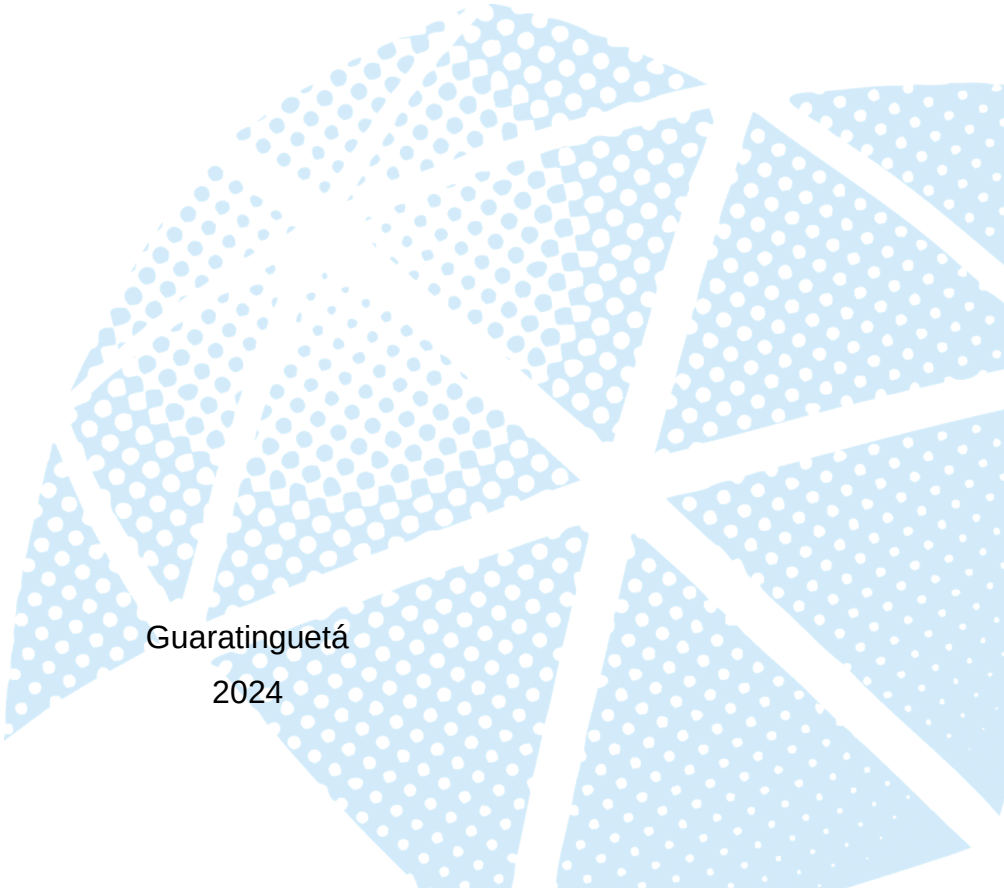


UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Faculdade de Engenharia e Ciências - Campus de Guaratinguetá

GIOVANA APARECIDA FREITAS FERREIRA

**MODELAGEM E ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO
NO CAMPUS DE GUARATINGUETÁ DA UNESP**



Guaratinguetá
2024

GIOVANA APARECIDA FREITAS FERREIRA

**MODELAGEM E ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO
NO CAMPUS DE GUARATINGUETÁ DA UNESP**

Trabalho de Graduação apresentado à
Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Engenharia e Ciências,
Guaratinguetá, para obtenção do título de
Bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Victor Arruda Ferraz
de Campos

Coorientadora: Prof^a. Dra. Isabel Cristina
de Barros Trannin

Guaratinguetá

2024

F383m	Ferreira, Giovana Aparecida Freitas Modelagem e estudo da eficiência energética de uma edificação no Campus de Guaratinguetá da Unesp / Giovana Aparecida Freitas Ferreira - Guaratinguetá, 2024. 48 f : il. Bibliografia: f. 46-48 Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2024. Orientador: Prof. Dr. Victor Arruda Ferraz de Campos Coorientadora: Prof^a. Dra. Isabel Cristina de Barros Trannin 1. Análise energética. 2. Energia - Fontes alternativas. 3. Construção civil. I. Título. CDU 620.91
-------	--

Luciana Máximo
Bibliotecária/CRB-8 3595

GIOVANA APARECIDA FREITAS FERREIRA

**MODELAGEM E ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO
NO CAMPUS DE GUARATINGUETÁ DA UNESP**

Trabalho de Graduação apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Engenharia e Ciências, Guaratinguetá, para obtenção do título de Grau
acadêmico Bacharelado em Engenharia Civil.

Data da defesa: 22/11/2024

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **VICTOR ARRUDA FERRAZ DE CAMPOS**
Data: 03/12/2024 15:21:08-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Victor Arruda Ferraz de Campos
UNESP – Faculdade de Engenharia e Ciências - Guaratinguetá

Documento assinado digitalmente
 **ISABEL CRISTINA DE BARROS TRANNIN**
Data: 03/12/2024 22:06:03-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profª. Dra. Isabel Cristina de Barros Trannin
UNESP – Faculdade de Engenharia e Ciências - Guaratinguetá

Documento assinado digitalmente
 **MARCELA TERSI PEREIRA**
Data: 06/12/2024 16:31:49-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Engª. Civil Marcela Tersi Pereira

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho marca o encerramento de uma etapa importante da minha vida acadêmica, gostaria de expressar minha gratidão a todos que contribuíram de alguma forma para essa conquista.

Primeiramente, agradeço a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo dessa jornada, iluminando meu caminho e me ajudando a superar os desafios que surgiram.

Agradeço também aos meus pais e meu namorado, pelo apoio em todos os momentos e por acreditarem no meu potencial. O amor e suporte de vocês me possibilitaram chegar até aqui.

Ao meu orientador, Victor Arruda Ferraz de Campos, pela paciência, dedicação e orientação ao longo deste percurso. Sua experiência e conselhos foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos professores do curso de Engenharia Civil da UNESP Guaratinguetá, por todo o conhecimento compartilhado e pelas contribuições durante minha formação acadêmica.

Por fim, agradeço aos colegas e amigos que compartilharam comigo essa jornada, por todas as trocas de ideias, apoio mútuo e pelos momentos de descontração que tornaram esse caminho mais leve.

“Foi o tempo que dedicaste à tua rosa que
a fez tão importante.”

(O Pequeno Príncipe, 1943, p. 72).

RESUMO

Este trabalho de graduação teve como objetivo analisar a eficiência energética do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Guaratinguetá, e propor soluções baseadas nos princípios de edifícios de energia zero. A análise envolve a modelagem do edifício utilizando o software Revit e a simulação do desempenho energético por meio das ferramentas *OpenStudio* e *EnergyPlus* integradas ao software, a fim de avaliar o consumo atual e identificar possíveis melhorias. Além disso, são propostas estratégias de eficiência energética, tanto passivas quanto ativas, incluindo a integração de fontes renováveis, como sistemas fotovoltaicos. O trabalho se justifica pela importância da sustentabilidade no setor de edificações, alinhando-se aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas, especialmente os objetivos 7, 11 e 13, que tratam de energia limpa, cidades sustentáveis e ação contra a mudança climática. Os resultados das simulações indicaram que grande parte do consumo energético está relacionada ao resfriamento do edifício, sendo possível reduzir este consumo em aproximadamente 5% quando considerado o sombreamento de algumas árvores ao redor. Além disso, foi analisada a viabilidade da instalação de sistemas fotovoltaicos, demonstrando que um sistema com potência instalada de 56 kW seria suficiente para suprir toda a demanda energética do edifício, estimada em 64.575 kWh por ano. O cálculo para o payback foi realizado utilizando métodos de engenharia econômica, considerando o custo inicial do sistema, suas horas de operação, a energia produzida, a economia anual gerada pela redução do consumo da rede elétrica local e considerado um custo anual de manutenção correspondente a 3% do valor do investimento. Assim, o tempo de retorno do investimento foi estimado em aproximadamente 1 ano e 6 meses. Esse resultado comprova que a instalação do sistema é economicamente viável e reduziria a dependência de fontes não renováveis, alinhando o edifício aos princípios de energia zero.

Palavras-chave: eficiência energética; edifício de energia zero; modelagem energética; fontes renováveis; desempenho energético de edificações.

ABSTRACT

This undergraduate thesis aimed to analyze the energy efficiency of the Civil Engineering Department (DEC) of São Paulo State University (UNESP), Guaratinguetá campus, and to propose solutions based on the principles of zero-energy buildings. The analysis involves modeling the building using Revit software and simulating its energy performance using the OpenStudio and EnergyPlus tools integrated into the software, to assess current consumption and identify possible improvements. In addition, both passive and active energy efficiency strategies are proposed, including the integration of renewable sources, such as photovoltaic systems. The work is justified by the importance of sustainability in the building sector, in line with the United Nations Sustainable Development Goals, especially goals 7, 11 and 13, which deal with clean energy, sustainable cities and action against climate change. The results of the simulations indicated that a large part of the energy consumption is related to cooling the building, and that it is possible to reduce this consumption by approximately 5% when considering the shading of some surrounding trees. Furthermore, the feasibility of installing photovoltaic systems was analyzed, demonstrating that a system with an installed capacity of 56 kW would be sufficient to meet the entire energy demand of the building, estimated at 64,575 kWh per year. The payback calculation considered the initial cost of the system, its operating hours, the energy produced, the annual savings generated by reducing consumption from the local electricity grid, and an annual maintenance cost corresponding to 3% of the investment value. Thus, the return on investment time was estimated at approximately 1 year and 6 months. This result proves that the installation of the system is economically viable and would reduce dependence on non-renewable sources, aligning the building with zero energy principles.

Keywords: energy efficiency; zero energy building; energy modeling; renewable sources; sustainability.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	JUSTIFICATIVA.....	10
1.2	OBJETIVOS.....	10
1.2.1	Objetivo Geral.....	10
1.2.2	Objetivos Específicos	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1	PANORAMA ENERGÉTICO DAS EDIFICAÇÕES NO BRASIL	12
2.2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES.....	14
2.2.1	Princípios de Edificações de Energia Zero	15
2.2.2	Estratégias Passivas e Ativas de Eficiência Energética	17
2.2.2.1	<i>Métodos Passivos</i>	17
2.2.2.1.1	<i>Vegetação.....</i>	17
2.2.2.1.2	<i>Isolamento térmico</i>	18
2.2.2.1.3	<i>Fenestração.....</i>	20
2.2.2.1.4	<i>Luz Natural</i>	20
2.2.2.1.5	<i>Sombreamento</i>	21
2.2.2.1.6	<i>Cool Roof.....</i>	21
2.2.2.1.7	<i>Ventilação Natural</i>	22
2.2.2.2	<i>Métodos Ativos</i>	22
2.2.2.2.1	<i>AVACs</i>	22
2.2.2.2.2	<i>Light Emitting Diodes – LEDs</i>	23
2.2.3	Fontes de Energia Renovável.....	24
2.2.3.1	<i>Energia Fotovoltaica</i>	24
2.2.3.1.1	<i>Painéis fotovoltaicos de película fina</i>	27
2.2.3.1.2	<i>Painéis fotovoltaicos transparentes</i>	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
3.1	MÉTODOS.....	29
3.2	MODELAGEM DO EDIFÍCIO E ANÁLISE ENERGÉTICA NO SOFTWARE AUTODESK REVIT	29
3.2.1	Processo de preparação do modelo para análise.....	30
3.2.1.1	<i>Configurações avançadas de energia</i>	31
3.3	ANÁLISE DA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.....	33

3.3.1	Potência entregue pelo sistema.....	34
3.3.2	Análise econômica.....	35
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	36
4.1	MODELAGEM REVIT	36
4.2	RELATÓRIOS OPENSTUDIO	38
4.2.1	Relatório do edifício com influência das áreas externas.....	39
4.2.2	Relatório do edifício sem influência das áreas externas.....	41
4.3	ANÁLISE DA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.....	42
4.3.1	Análise Econômica	42
5	CONCLUSÕES	45
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	45
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia está crescendo em ritmo acelerado nas últimas décadas, isso se deve principalmente ao surgimento de novas tecnologias que garantem maior conforto e qualidade de vida e estão cada vez mais presentes no dia a dia, juntamente com o aumento do tempo das pessoas em suas moradias com a difusão do home office e com o crescimento da população urbana e da renda per capita (LOPES et al., 2016).

Com os impactos causados por este aumento do consumo de energia, a eficiência energética tem se tornado uma questão de grande relevância em diversos setores da sociedade, especialmente no contexto das construções civis, que são responsáveis por uma parcela significativa do consumo de energia em todo o mundo. Com o avanço da preocupação com a sustentabilidade e a necessidade de redução dos impactos ambientais, a busca por edificações mais eficientes, que consumam menos recursos naturais e emitam menos poluentes, se torna cada vez mais relevante.

Para auxiliar a construção de edificações mais eficientes, pode-se fazer o uso da modelagem computacional, que permite simular o comportamento térmico e energético de uma edificação, possibilitando a análise de diferentes cenários e intervenções que visem a otimização do consumo de energia. Esses estudos são fundamentais para identificar pontos críticos de desperdício e propor soluções que contribuam para a sustentabilidade do ambiente construído.

O presente trabalho tem como objeto de estudo o Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), campus de Guaratinguetá. A partir de uma análise técnica do consumo energético atual do edifício e da modelagem no software Revit, com posterior análise nas ferramentas *OpenStudio* e *EnergyPlus* integradas ao software, busca-se propor soluções que alinhem a edificação aos princípios de edifícios de energia zero.

Ao longo deste trabalho, serão abordados conceitos fundamentais de eficiência energética, detalhes da modelagem computacional e metodologias de avaliação do desempenho energético de edificações, com o intuito de fornecer uma base para a compreensão do tema e das soluções propostas.

1.1 JUSTIFICATIVA

O respectivo trabalho justifica-se por apresentar relação com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas, que consistem em um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade (ONU, 2021). Sendo englobados pelo trabalho principalmente os objetivos: número 7, acerca de energia limpa e acessível; número 11, em relação a cidade e comunidades sustentáveis; e o número 13, sobre ações contra mudança global do clima.

Esse trabalho, também se justifica, pois, no Brasil, o setor de edificações responde por parte expressiva do consumo de energia elétrica no país: em 2019, cerca de 50% do consumo desse energético ocorreram em edificações comerciais, residenciais e do setor público (EPE, 2020). Porém, esses edifícios têm uma melhora significativa desse consumo energético quando são propostas estratégias passivas de eficiência energética, como vedação, uso de geometria e proporções, telhados verdes, iluminação natural e ventilação natural.

Por fim, justifica-se esse trabalho pois será proposto tecnologias de geração, como sistemas fotovoltaicos, termossolares e geotérmicos, que segundo Lu et al. (2015), são os sistemas de geração de energia mais utilizados em edifícios de energia zero ao redor do mundo, para fins de redução do consumo, da importação de energia e para estabelecer uma paridade no consumo de energia elétrica do edifício, zerando assim as importações considerando as exportações de energia de um sistema, aproximando-se com os conceitos do edifício de energia zero.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 **Objetivo Geral**

O objetivo geral do presente trabalho é analisar a eficiência energética do Departamento de Engenharia Civil (DEC) e propor fontes de geração energia, visando os princípios de edifícios energia zero.

1.2.2 **Objetivos Específicos**

- a) Realizar análise técnica do consumo de energia do DEC e analisar sua eficiência energética;
- b) Realizar a modelagem do edifício no Revit e analisá-la através das ferramentas de análise energética integradas ao software;
- c) Propor soluções de eficiência energética, incluindo fontes renováveis de geração de energia.

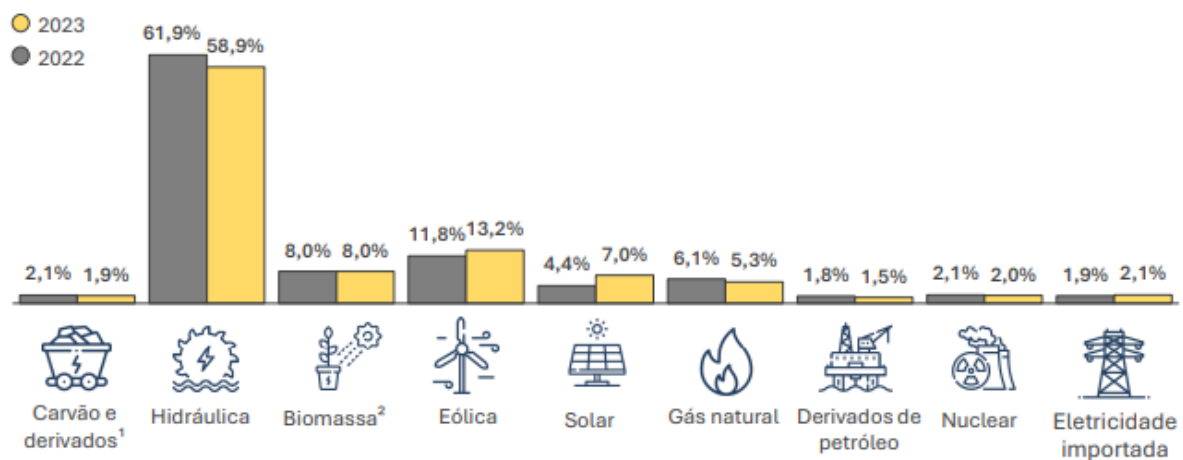
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Panorama Energético das Edificações no Brasil

De acordo com o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE, 2050), o setor de edificações é responsável por aproximadamente 1/6 do consumo de energia e 50% do consumo de eletricidade no Brasil. Para que seja possível analisar a eficiência energética das edificações, é necessário antes compreender melhor o cenário de energia brasileiro.

Primeiramente, um dos pontos para se conhecer mais é sobre a matriz energética brasileira. Para isso, pode se observar o Gráfico 1, retirado do Balanço Nacional Energético (BEN), que é realizado anualmente pelo Ministério de Minas e Energia do Brasil, através da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). O relatório utilizado como referência foi o BEN de 2024, com os dados de 2023.

Figura 1 - Matriz elétrica brasileira em 2023



Fonte: BEN (2024).

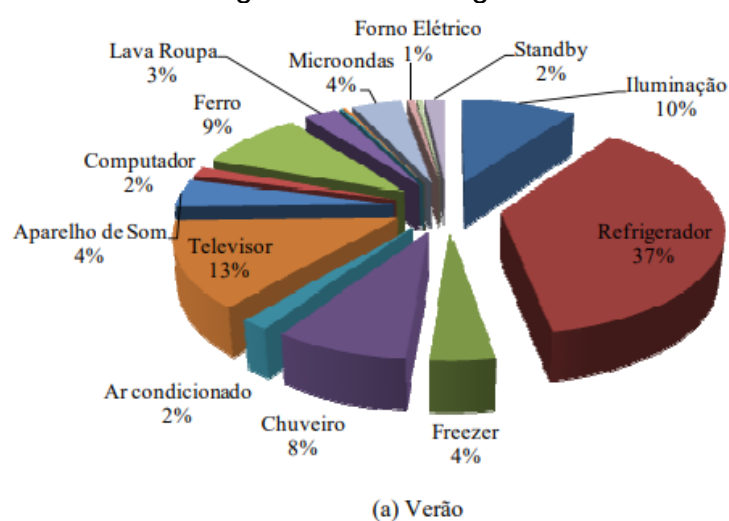
Pode-se observar que, em se tratando de energia elétrica, há uma grande produção através das hidrelétricas, sendo o meio mais utilizado pelo Brasil, gerando em 2023 cerca de 58,9% da energia consumida no país. Considerada uma porcentagem relevante, principalmente quando se comparada com a média global, de 15,5%, divulgada em 2021 pela *International Energy Agency* (IEA).

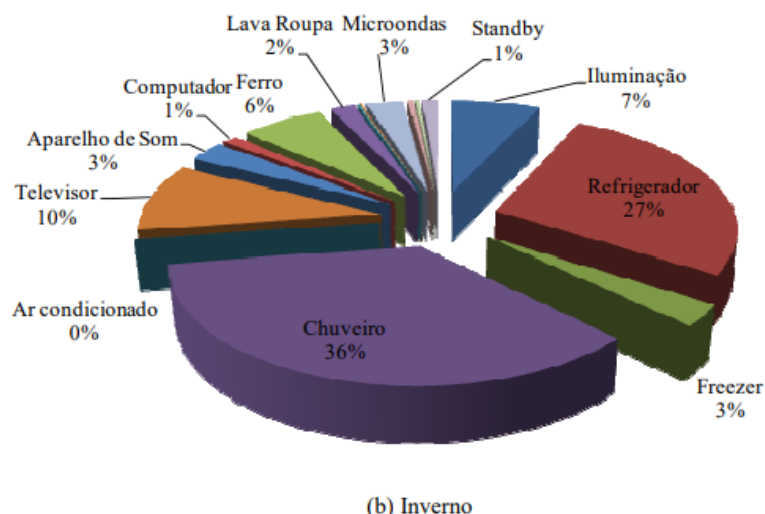
Observa-se também que houve queda na produção de energia através das hidrelétricas no ano de 2023, quando comparado com o ano de 2022. Isso se deve a mudança nos padrões de chuva, que afetaram diretamente a produção das usinas hidrelétricas. Com esse déficit, a partir de 2015, a Agência Nacional de Energia

Elétrica (ANEEL) implantou o sistema de bandeiras tarifárias. De acordo com a ANEEL, a cada mês o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) analisa qual o melhor método para geração de energia. E então, são definidas as previsões do balanço entre energia gerada por hidrelétricas e energia gerada a partir de fontes térmicas, as quais possuem um custo de operação maior, e portanto, são cobrados valores adicionais para cada 100 kWh consumidos. Desta forma, neste sistema de bandeiras, cores diferentes são utilizadas para indicar se haverá aumento na tarifa de energia elétrica e de quanto será este aumento. Com este cenário, foram destacadas diversas medidas de redução do consumo de energia em residências pela mídia à população (BARZAN, 2018).

A avaliação da composição do consumo de energia elétrica, incluindo os padrões de uso adotados pelos habitantes, é parte fundamental no processo de desenvolvimento de projetos eficientes (GHISI, 2007). Portanto, para que seja analisado posteriormente a eficiência energética, é relevante conhecer antes os usos finais da energia elétrica nas edificações. Na figura 2, pode-se observar a modificação dos usos da energia elétrica de acordo com as estações do ano. Os dados analisados serão da região sudeste do Brasil, pois é onde está localizada a cidade de Guaratinguetá que contempla o campus da Unesp que será o objeto de estudo do trabalho.

Figura 2 - Usos finais de energia elétrica na região Sudeste no verão e no inverno.





Fonte: Ghisi (2007).

O chuveiro elétrico, no inverno, é o equipamento que mais consome energia elétrica na região Sudeste. A posição da chave que controla o aquecimento da água no chuveiro elétrico no período de inverno para a região Sudeste está, na maioria das vezes, na posição de maior consumo. Enquanto no período de verão, na maioria dos casos, a posição está em “verão” que foi considerado com consumo nulo. Este comportamento justifica a grande variação no uso final de energia pelo chuveiro elétrico (GHISI, 2007).

Ao analisar os resultados da pesquisa, comprova-se que a aplicação de conceitos de eficiência energética deve se basear nos hábitos de consumo e no clima referente à localização do edifício. No caso do edifício em estudo, que se localiza na cidade de Guaratinguetá, no estado de São Paulo, o clima da região é subtropical úmido, com temperaturas em geral variando de 12 °C a 31 °C; possuindo um verão quente, abafado, com precipitação e de céu encoberto; e um inverno curto, agradável e de céu quase sem nuvens.

2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

Eficiência energética em uma edificação consiste na adequação da construção com intuito de reduzir sua demanda energética, como por exemplo a utilização da energia solar ou complementares para suprir os requerimentos energéticos dos edifícios com relação ao aquecimento, refrigeração e iluminação com a finalidade de reduzir substancialmente o consumo energético de energia convencional. Ao reduzir

a demanda de energia, diminuem consequentemente as emissões de CO₂ e outros agentes de poluição atmosférica (COELHO, 2017).

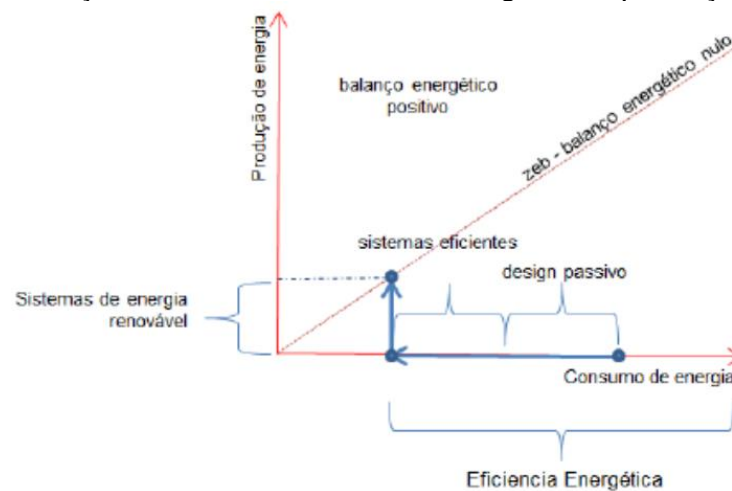
Uma edificação pode ser considerada energeticamente eficiente se: apresentar equipamentos eficientes e materiais adequados ao local e às condições as quais está inserido; fornecer condições e serviços adequados ao uso para o qual foi projetado; e, apresentar um gasto energético menor quando comparado a edificações similares. O consumo de energia não deve ser o único critério analisado, pois o baixo consumo de energia elétrica pode representar condições internas desconfortáveis ou poucas horas de ocupação (GARCIA et al., 2021).

Diversas universidades no mundo já vêm direcionando seus esforços para aprimorar a eficiência energética em seus espaços físicos. Khoshbakht, Gou e Dupre (2018) apresentaram uma revisão da literatura sobre análise energética de edifícios de Instituições de Ensino Superior (IES). Observou-se uma variação de 79 a 739 kWh/m²/ano entre as edificações analisadas, de climas subtropicais úmidos de diferentes países. Constatou-se que a atividade dos espaços estava intimamente relacionada ao uso de energia e que os laboratórios apresentaram consumo de energia consideravelmente superior a outras atividades como ensino, principalmente devido ao uso intenso de equipamentos e sistemas ar-condicionado. Estudo recente indica a adaptação do calendário acadêmico como estratégia para a redução do consumo energético dos edifícios universitários, de forma complementar a ações de retrofit. Os autores verificaram 5% de redução de consumo energético a partir da adaptação de um calendário semestral para um trimestral (GUI; GOU; LU, 2021).

2.2.1 Princípios de Edificações de Energia Zero

Edificações de energia zero (NZEB - Net Zero Energy Buildings) são construções que possuem alta eficiência energética, gerando a própria energia a partir de fontes renováveis. Esses edifícios conseguem manter um equilíbrio energético próximo a zero ao longo do ano, contribuindo para a diminuição do impacto ambiental e reduzindo a necessidade de investimentos na construção de usinas geradoras de energia. Na Figura 3 é ilustrado o gráfico que relaciona a produção e o consumo de energia e qual seria o ponto onde se encontra o edifício com balanço energético nulo.

Figura 3 - Relação entre a necessidade energética e produção de energia.



Fonte: Mendes (2018).

Segundo Mendes (2018), um NZEB é um edifício no qual se deve agregar tanto soluções passivas como ativas com o intuito de atingir o objetivo determinado. Portanto, é necessário ter em atenção algumas características e desafios deste conceito.

- a) Construção do edifício - Otimização de design passivo e integração de sistemas ativos de aproveitamento solar;
- b) Aquecimento, Ventilação e Ar-condicionado - Pequenos sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (AVACs) integrados com sistemas de aproveitamento solar combinado de aquecimento e produção de energia;
- c) Sistemas de geração renovável - Devem ser totalmente integrados, seja produção fotovoltaica, aquecimento solar ou ambos, sistemas geotérmicos, biodiesel;
- d) Sistemas automáticos - Centros de controle geral para otimizar o edifício;
- e) Operação e Design - Integração e otimização num só sistema de todos os aspetos acima referidos havendo sempre atenção ao próprio design do edifício;

Embora existam abordagens necessárias, não há um método padrão para projetar esse tipo de edifício. É crucial considerar as necessidades energéticas da infraestrutura, investir em equipamentos e iluminação eficientes e, sempre que possível, adotar soluções passivas para maximizar o uso dos recursos disponíveis, garantindo o conforto energético e térmico dos ocupantes. Também é importante notar que nem todos os edifícios podem ser transformados em NZEB, e nem todas as regiões do mundo são adequadas para esses projetos. Fatores como condições

climáticas extremas e características arquitetônicas podem dificultar a implementação completa do conceito NZEB. No entanto, é possível aplicar ao máximo os princípios e medidas de NZEB onde for viável.

2.2.2 Estratégias Passivas e Ativas de Eficiência Energética

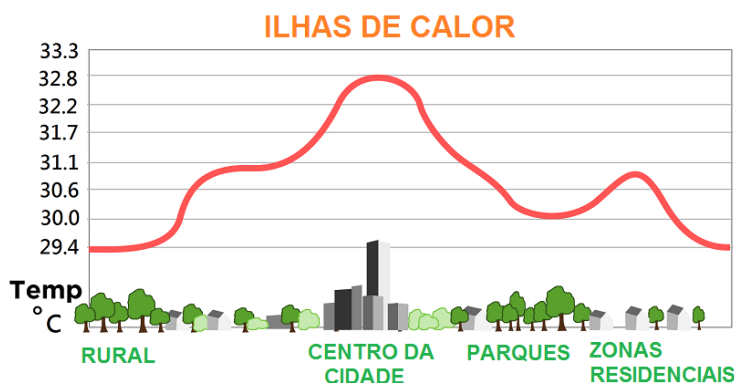
As características do edifício de energia zero podem ser divididas em duas áreas principais. Primeiramente, os métodos passivos, que envolvem a arquitetura e a disposição do edifício, além do aproveitamento das condições naturais do local para reduzir o consumo de energia. Em segundo lugar, os métodos ativos, que consistem em sistemas e tecnologias que complementam os métodos passivos.

2.2.2.1 Métodos Passivos

2.2.2.1.1 Vegetação

A presença de vegetação em um edifício pode influenciar seu interior por meio do sombreamento e do controle de temperatura. O sombreamento, por sua vez, impacta o controle de temperatura, pois ao criar sombras nas fachadas, a vegetação reduz os ganhos de calor, aumentando a sensação de conforto interno e diminuindo a energia necessária para climatização. Esse efeito de sombreamento também se estende às áreas ao redor do edifício, como estacionamentos e pavimentos, evitando grandes aumentos de temperatura e ajudando a prevenir a formação de ilhas de calor urbano, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Gráfico ilustrativo das ilhas de calor.



Fonte: Rangel (2017).

A vegetação pode ser integrada em edifícios de duas maneiras principais: ao redor, com árvores que proporcionam sombra, ou através de telhados e paredes

verdes, onde plantas menores são instaladas nas fachadas e/ou no telhado. Essas soluções ajudam a regular a temperatura interna e melhoram o isolamento acústico.

A evapotranspiração, um fenômeno que combina a evaporação da água do solo e a transpiração das plantas, pode reduzir a temperatura do ar ambiente. Estudos mostram que esse processo pode diminuir a temperatura em 2 a 2,5 °C sob uma árvore ou dentro de uma casa, em comparação com as áreas circundantes.

A Figura 5 ilustra o edifício Bosco Verticale, localizado em Milão na Itália e inaugurado em 2014. Foi o primeiro exemplo de floresta vertical no mundo, que é um conceito arquitetônico que substitui os materiais tradicionais nas superfícies urbanas utilizando uma policromia de folhas em suas paredes.

Figura 5 – Edifício Bosco Verticale, primeira floresta vertical do mundo.



Fonte: Guerra (2024).

2.2.2.1.2 Isolamento térmico

A técnica de isolamento térmico envolve o uso de materiais e métodos para reduzir a transferência de calor entre o interior e o exterior de um edifício. O objetivo é manter a temperatura interna estável, proporcionando conforto térmico e eficiência energética.

Segundo Mendes (2018), a maneira mais comum de caracterizar o nível de isolamento é o valor de R (R-value), que consiste na resistência térmica de um tipo de material por unidade de área, mK/W. Quanto maior o valor R, maior será o isolamento desse material.

Existem vários tipos de materiais, dos sintéticos aos orgânicos, para se utilizar com esta finalidade. No entanto, os mais usuais são a fibra de vidro, celulose e lã mineral.

- a) Fibra de vidro: o isolante térmico mais utilizado nos dias de hoje devido ao seu baixo custo e boa eficiência (R-Value entre 17 e 35). Utilizado nas paredes, chão e telhados.
- b) Celulose: isolamento do tipo enchimento solto, pode ser seco ou úmido. Feito através de papel reciclado, resistente ao fogo, bolor e insetos. Mais barata que a fibra de vidro e possui um R-Value entre 20 e 26. O seu uso ajuda na redução de desperdício de papel.
- c) Lã Mineral: uma fibra isolante como a fibra de vidro, mas feita de materiais naturais. Consiste em dois tipos: lã de rocha, fibras feitas de pedras naturais, basalto ou diábase; ou lã de escória, feita através dos resíduos de minerais, como o ferro. É naturalmente resistente à umidade, mantendo suas qualidades de isolante mesmo quando molhado, ótimo isolante sonoro, com R-value entre 17 e 27.

Existe também um material mais atual, denominado Materiais de Mudança de Fase (PCM, do inglês Phase Change Materials), que são substâncias que armazenam e liberam grandes quantidades de energia térmica durante suas transições de fase, como de sólido para líquido e vice-versa. Esses materiais são muito utilizados em sistemas de isolamento térmico devido à sua capacidade de manter a temperatura estável. Eles funcionam absorvendo calor quando a temperatura ambiente aumenta e liberando calor quando a temperatura diminui, ajudando a manter um ambiente com temperatura controlada.

Os PCMs podem ser classificados em três categorias principais: Orgânicos, como parafinas e ácidos graxos; Inorgânicos, como sais hidratados; e, Eutéticos, combinações de materiais orgânicos e inorgânicos que possuem pontos de fusão específicos.

O processo, de forma simples, ocorre da seguinte forma: se a temperatura do ambiente aumenta até ao ponto projetado do material, o material passa para fase líquida e armazena o calor, mantendo assim a temperatura no interior do edifício constante; se a temperatura ambiente diminui até ao ponto projetado do material, o material passa para sua fase sólida, liberando calor e mantendo assim a temperatura no interior do edifício constante.

2.2.2.1.3 Fenestração

Fenestração é o design arquitetônico que permite a entrada de luz natural e circulação de ar dentro do edifício quando necessário, pode ser através de janelas, claraboias e qualquer outro tipo de aberturas envidraçadas nos edifícios.

A radiação solar que incide nas fenestrações, devido à maior área de incidência, penetra no interior do edifício, causando significativos ganhos de calor. Portanto, o nível de envidraçamento é crucial para determinar a quantidade de calor ganho. O vidro das janelas permite a passagem de ondas curtas de radiação infravermelha, mas bloqueia as ondas longas emitidas pelos objetos aquecidos dentro do edifício devido à radiação solar. Isso resulta em um efeito estufa interno, onde a temperatura interna pode ser maior que a externa se o sistema de fenestração não for bem planejado.

Sob a perspectiva de Edifícios de Energia Quase Zero (NZEB), a fenestração pode contribuir significativamente para o condicionamento de ar e iluminação, reduzindo consideravelmente a fatura energética se bem projetada.

As fachadas voltadas para o norte recebem menor intensidade de radiação solar, seguidas pelas fachadas ao sul. As fachadas leste e oeste, por serem as direções do percurso solar, são as mais atingidas. Por isso, dependendo do clima, a localização das fenestrações deve ser cuidadosamente planejada.

2.2.2.1.4 Luz Natural

A luz natural é a iluminação proveniente do sol que é utilizada dentro dos edifícios através de aberturas como janelas, claraboias e portas de vidro. A incorporação da luz natural em projetos arquitetônicos oferece diversos benefícios, tanto estéticos quanto funcionais. A utilização eficiente da luz natural pode reduzir significativamente a necessidade de iluminação artificial durante o dia, diminuindo o consumo de energia elétrica e, consequentemente, os custos operacionais.

Ambientes bem iluminados naturalmente são mais agradáveis e podem melhorar o humor e a produtividade dos ocupantes. Reduzir a dependência de iluminação artificial contribui para a sustentabilidade ambiental, diminuindo as emissões de carbono associadas à produção de eletricidade.

Janelas e claraboias são as principais fontes de luz natural em um edifício e devem ser estrategicamente posicionadas para maximizar a entrada de luz sem causar desconforto térmico. Brises e persianas são utilizados para controlar a quantidade de luz que entra no edifício, evitando o excesso de calor e o ofuscamento.

A luz solar pode aumentar a carga térmica do edifício, por isso é importante utilizar vidros de baixa emissividade e sistemas de sombreamento para controlar o ganho de calor.

2.2.2.1.5 Sombreamento

Técnicas de sombreamento são essenciais para o controle do ambiente interior do edifício, permitindo reduzir ou até eliminar a necessidade de tecnologias de aquecimento ou resfriamento para manter o conforto térmico. Combinado com o tipo de envidraçamento e o tamanho das fenestrações, o sombreamento é igualmente importante para limitar os ganhos de calor do exterior para o interior.

É crucial considerar as mudanças no percurso solar ao longo do ano e a intensidade da radiação ao planejar a orientação desses equipamentos. No hemisfério norte, o sol tem um ângulo mais baixo e ligeiramente para o sul durante o inverno, enquanto no verão o ângulo é maior e ligeiramente para o norte. Portanto, o sombreamento nas fachadas ao sul do edifício deve permitir a entrada de radiação solar em um ângulo baixo para maximizar os ganhos de calor no inverno, mas deve bloqueá-la no verão. Nas fachadas ao norte, o sombreamento é utilizado principalmente para evitar a entrada de radiação solar no verão.

Além disso, é importante utilizar materiais e tecnologias avançadas, como vidros de baixa emissividade e sistemas de sombreamento automatizados, que ajustam a quantidade de luz e calor que entra no edifício com base nas condições climáticas e na posição do sol. Estudos mostram que a combinação de sombreamento adequado com vidros de alta performance pode reduzir significativamente o consumo de energia em edifícios, contribuindo para a sustentabilidade e a eficiência energética.

2.2.2.1.6 Cool Roof

Em regiões mais quentes, as cores claras desempenham um papel crucial em manter o interior das casas e edifícios mais frescos do que o exterior. Telhados frios, ou *Cool Roofs*, utilizam superfícies refletoras para manter a temperatura do telhado baixa. Por isso, quando se fala em medidas de eficiência energética em um edifício, o telhado deve ter uma cor clara e refletora da radiação solar, já que é a parte mais exposta de qualquer construção. Enquanto um telhado convencional pode atingir temperaturas superiores a 60°C, esses telhados, nas mesmas condições, podem ser até 30°C mais frios.

2.2.2.1.7 Ventilação Natural

A ventilação natural é uma estratégia fundamental no projeto e operação de edificações, desempenhando um papel significativo no conforto dos ocupantes e na eficiência energética. Ela utiliza a circulação do ar natural, aproveitando correntes de vento e diferenças de pressão para ventilar e resfriar o ambiente interno de uma construção. Essa técnica é parte integrante da arquitetura bioclimática, que busca criar ambientes saudáveis e confortáveis utilizando recursos naturais. A ventilação natural ajuda a renovar o ar do ambiente, melhorando a qualidade do ar interno e reduzindo a necessidade de sistemas mecânicos de ventilação, como ar-condicionado.

Existem várias técnicas de ventilação natural, incluindo:

- a) Ventilação Cruzada: Utiliza aberturas em lados opostos do edifício para criar uma corrente de ar que atravessa o espaço, removendo o ar quente e trazendo ar fresco.
- b) Efeito Chaminé: Baseia-se na diferença de densidade entre o ar quente e o ar frio. O ar quente sobe e é expelido por aberturas no topo do edifício, enquanto o ar frio entra por aberturas na parte inferior.
- c) Ventilação Induzida: Utiliza mecanismos para criar uma diferença de pressão que força a circulação do ar.

Para maximizar a eficácia da ventilação natural, é essencial considerar o design do edifício, a localização das aberturas e as condições climáticas locais.

2.2.2.2 Métodos Ativos

2.2.2.2.1 AVACs

Os sistemas de AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado) são essenciais para garantir o conforto térmico e a qualidade do ar em diversos tipos de edificações, desde residências até grandes complexos industriais. Esses sistemas são projetados para controlar a temperatura, a umidade e a ventilação, criando ambientes internos confortáveis.

O aquecimento refere-se ao processo de elevar a temperatura de um ambiente, utilizando métodos como aquecedores elétricos, radiadores e sistemas de piso

aquecido. A ventilação envolve a troca de ar entre o interior e o exterior de um edifício para garantir uma boa qualidade do ar, podendo ser natural, utilizando aberturas como janelas, ou mecânica, usando ventiladores e dutos. O ar-condicionado está relacionado ao processo de resfriamento e, muitas vezes, também à desumidificação do ar, sendo comumente usados para manter temperaturas mais baixas em ambientes internos durante períodos quentes.

Existem dois tipos de sistemas AVAC: o centralizado, que possui um sistema central de refrigeração ou aquecimento de água, chillers ou caldeiras; e o distribuído, que utiliza o sistema de fluxo de gás refrigerante (VRF), que são sistemas individuais de ar-condicionado, aquecimento e/ou ventilação.

Em comparação com o sistema Centralizado, o Distribuído, tem baixo gasto de aquisição e instalação, mas em contrapartida tem um consumo operacional muito maior. Este método é mais indicado para locais com menos de 40m².

2.2.2.2.2 *Light Emitting Diodes – LEDs*

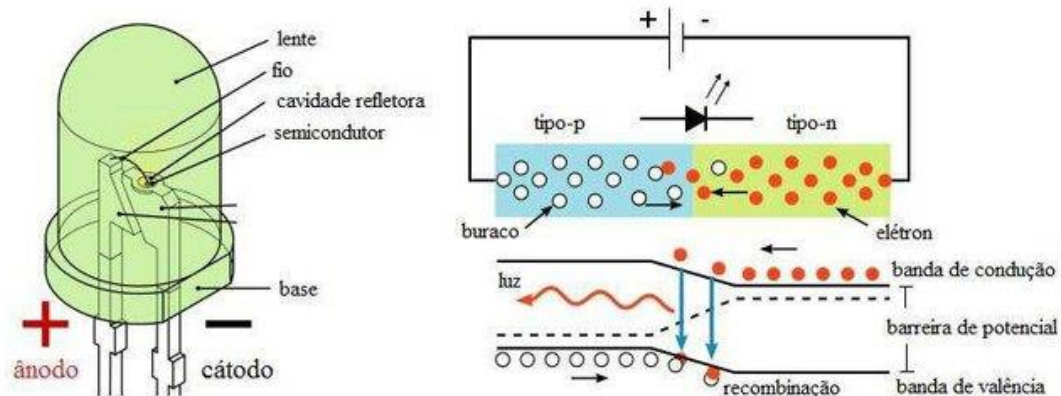
Os LEDs (diodos emissores de luz) são dispositivos semicondutores que emitem luz quando uma corrente elétrica passa através deles. Eles funcionam com base no princípio da eletroluminescência, onde os elétrons se movem através de um material semicondutor. Quando uma corrente elétrica é aplicada, o movimento dos elétrons libera energia na forma de fótons, resultando em luz visível.

Os LEDs são conhecidos por sua eficiência energética e durabilidade. Eles consomem menos energia em comparação com as lâmpadas incandescentes tradicionais e têm uma vida útil muito mais longa, de 15.000 a 25.000 horas, enquanto as lâmpadas incandescentes possuem uma vida útil de aproximadamente 1.000 horas. Além disso, os LEDs são mais robustos fisicamente, menores em tamanho e têm tempos de resposta mais rápidos.

Uma das grandes vantagens dos LEDs é a capacidade de emitir luz em várias cores sem a necessidade de filtros de cor, o que os torna ideais para uma ampla gama de aplicações. Eles também são mais ecológicos, pois não contêm mercúrio e outros materiais perigosos encontrados em algumas outras tecnologias de iluminação.

Em resumo, os LEDs representam uma tecnologia de iluminação avançada que oferece eficiência energética, durabilidade e versatilidade, tornando-os uma escolha popular para muitas aplicações modernas. Na Figura 6, é apresentado em detalhes o esquema de emissão de luz de um LED.

Figura 6 - Esquemas representando um LED e seu processo de emissão de luz.



Fonte: Moura (2011).

2.2.3 Fontes de Energia Renovável

2.2.3.1 Energia Fotovoltaica

Um sistema fotovoltaico é constituído principalmente pela combinação de painéis que contém um certo número de células solares capazes de converter a radiação solar incidente em eletricidade. Esses sistemas são amplamente utilizados em residências, indústrias e usinas solares, oferecendo uma fonte de energia limpa, renovável e sustentável. Além de reduzir a dependência de combustíveis fósseis, esses sistemas contribuem para a mitigação das mudanças climáticas e podem resultar em economia significativa na conta de energia elétrica.

O sistema fotovoltaico é composto por:

- a) **Painel Fotovoltaico:** Consiste em um conjunto de células feitas de materiais semicondutores que convertem a luz solar em eletricidade. Quanto maior o painel, maior a capacidade de geração. Os tamanhos mais comuns variam entre 165 e 195 cm de comprimento e entre 89 e 99 cm de largura, com espessuras típicas de 3 a 4,5 cm. Esses painéis têm uma vida útil de 20 a 30 anos.
- b) **Inversor:** Transforma corrente contínua (DC) gerada pelos painéis solares em corrente alternada (AC), que pode ser usada em aplicações elétricas ou injetada na rede. Além disso, atua como um dispositivo de segurança entre o sistema fotovoltaico e o edifício ou rede.

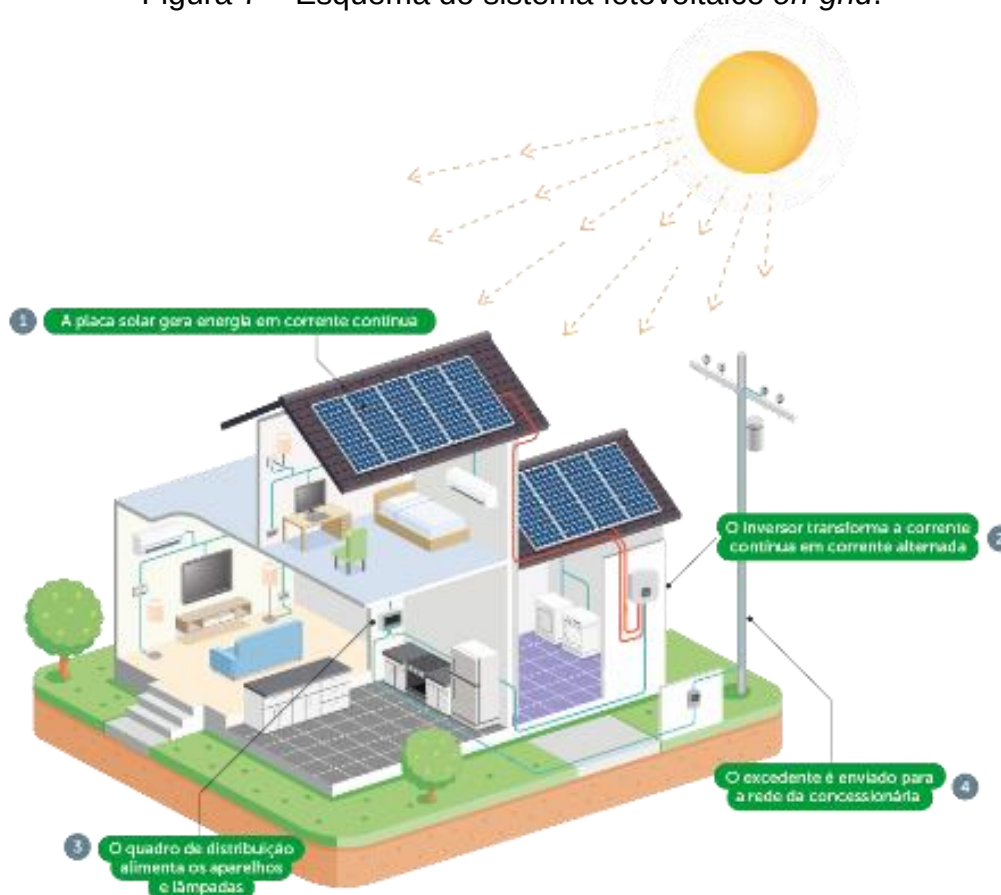
- c) **Baterias de Armazenamento:** Utilizadas para armazenar o excesso de energia gerada para uso futuro, especialmente em sistemas onde os usuários não pretendem vender o excedente.
- d) **Contador Elétrico:** Mede a quantidade de energia gerada pelo sistema fotovoltaico, sendo essencial para calcular e controlar a energia vendida à rede.

A eficiência de um sistema fotovoltaico é determinada pela relação entre a eletricidade gerada e a energia solar incidente nos painéis. Vários fatores podem influenciar essa eficiência:

- a) **Localização, ângulo de inclinação e orientação:** A radiação solar incidente varia significativamente com a localização e a forma de instalação dos painéis. Quanto mais próximo da linha do equador, maior a intensidade da radiação solar.
- b) **Sombreamento:** Fatores como geografia, edifícios circundantes, sombreamento de outros painéis e nuvens podem afetar a incidência de radiação solar nos painéis. É crucial considerar a paisagem ao planejar um sistema fotovoltaico.
- c) **Temperatura:** O aumento da temperatura dos painéis devido à radiação solar pode afetar o desempenho do sistema, especialmente em módulos de silício cristalino. Estima-se que para cada aumento de 1°C na temperatura ambiente acima de 25°C, o desempenho diminui entre 0,4% e 0,5%. É importante considerar o fluxo de ar na parte traseira dos painéis para reduzir o excesso de calor em períodos quentes.
- d) **Eficiência do Pannel:** Cada tipo de painel tem uma eficiência específica na conversão da radiação solar em energia. Isso depende da tecnologia utilizada, design e técnica de montagem. Por exemplo, um painel de silício cristalino tem uma eficiência entre 12% e 14%, enquanto um módulo de película fina tem uma eficiência entre 10% e 11%.

Em sistemas off-grid, a energia excedente pode ser armazenada em baterias para uso posterior, enquanto em sistemas *on-grid*, a energia gerada é injetada diretamente na rede elétrica, ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Esquema do sistema fotovoltaico *on-grid*.



Fonte: Intelbras (2023).

A Resolução Normativa Nº 482/2012 da ANEEL foi essencial para o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no Brasil, pois regulamentou o sistema de Geração Distribuída (GD). Com isso, consumidores podem gerar sua própria energia a partir de fontes renováveis, como sistemas fotovoltaicos, conectando essa geração à rede elétrica (sistemas *on-grid*).

A resolução permite que o excedente de energia gerada seja injetado na rede, gerando créditos de energia que podem ser usados para abater o consumo em momentos de menor geração, como à noite. Esses créditos são válidos por até 60 meses e podem ser usados em outras unidades consumidoras do mesmo titular.

A Resolução 482/2012 foi um marco que viabilizou a energia fotovoltaica em residências e empresas, criando categorias como a Microgeração (até 75 kW) e Minigeração (75 kW a 5 MW). A medida gerou benefícios econômicos e ambientais ao reduzir a conta de energia e contribuir para a diminuição das emissões de carbono.

Atualizações posteriores, como a Resolução 687/2015 e a Lei 14.300/2022, ajustaram o sistema, incluindo a introdução da tarifa de uso da rede para novos sistemas GD, equilibrando o crescimento da GD com a infraestrutura elétrica. Esse marco regulatório impulsionou a expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil, consolidando-a como uma alternativa sustentável e viável.

2.2.3.1.1 *Painéis fotovoltaicos de película fina*

Os painéis solares de película fina são uma alternativa inovadora aos tradicionais painéis solares de silício cristalino. Esses painéis são fabricados com células fotovoltaicas finas e flexíveis, que podem ser dobradas ou enroladas sem perder suas propriedades elétricas. Essa flexibilidade é possível graças ao uso de materiais como o plástico especial ou filmes finos de semicondutores, como o CIGS (cobre-índio-gálio-disseleneto) e o OPV (fotovoltaico orgânico).

Segundo Nogueira (2013), as vantagens desse tipo de painel solar são: menor consumo de matéria-prima; redução e automatização das etapas de fabrico, incluindo a impressão direta das células no painel durante o fabrico, com redução dos custos de produção associados; módulos leves, finos e flexíveis, o que permite a sua integração e aplicação numa grande variedade de superfícies; e, menor consumo de energia embebida e pegada ecológica.

Citada anteriormente, pegada ecológica é um importante conceito que consiste na quantidade de terra e água bioprodutivas necessárias para sustentar o consumo de uma população específica, incluindo a produção de alimentos, materiais, energia, bem como a absorção de resíduos, especialmente dióxido de carbono emitido pela queima de combustíveis fósseis (Wackernagel, 1998).

Na Figura 8 podemos observar a diferença entre o painel solar tradicional e o painel de película fina.

Figura 8 – Pannel de células fotovoltaicas de película fina, figura acima, em contraponto com o tradicional *wafer based*, abaixo.



Fonte: Nogueira (2013).

2.2.3.1.2 Painéis fotovoltaicos transparentes

A empresa alemã, Heliatek GmbH, desenvolveu painéis solares parcialmente transparentes que conseguem absorver 60% da luz solar incidente. Com uma eficiência máxima de 7,2%, essa tecnologia ainda não atinge os aproximadamente 15% de muitos painéis convencionais. No entanto, é uma solução vantajosa para áreas envidraçadas de grandes edifícios. O equilíbrio entre a luz transmitida e a luz absorvida permite que, por exemplo, edifícios de escritórios com grandes fachadas de vidro voltadas para o sul utilizem iluminação natural moderada no interior, ao mesmo tempo em que produzem energia (Mendes, 2018). Na Figura 9, pode-se observar um exemplo de aplicação desse tipo de painel.

Figura 9 - Exemplo de aplicação de painéis fotovoltaicos transparentes



Fonte: Mendes (2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MÉTODOS

Realizou-se uma revisão bibliográfica dos temas de edificações de energia zero, construção civil com foco em eficiência energética e tecnologias de geração de energia através de fontes renováveis; também foram realizadas entrevistas para coleta de dados dos materiais construtivos e plantas do edifício. Serão realizadas a modelagem do Departamento de Engenharia Civil na Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, utilizando o software Revit e a simulação da eficiência energética através da ferramenta OpenStudio. A partir dos resultados da análise da eficiência energética pelo software serão propostos sistemas de geração de energia para alinhar o edifício com os princípios de edifícios de energia zero.

3.2 MODELAGEM DO EDIFÍCIO E ANÁLISE ENERGÉTICA NO SOFTWARE AUTODESK REVIT

Primeiramente, foi realizada a modelagem do edifício do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá utilizando o software Autodesk Revit. A modelagem incluiu a criação das plantas arquitetônicas, onde foram incorporadas as dimensões, os materiais e as características construtivas do edifício. O Revit é um software desenvolvido pela Autodesk, utilizado na área de arquitetura, engenharia e construção. Ele é uma ferramenta de Modelagem da Informação da Construção (BIM - Building Information Modeling), que permite a criação, visualização e gerenciamento de modelos digitais de edifícios e infraestruturas.

A modelagem no Revit fornece uma visão ampla da edificação e permite que se faça uma análise integrada com outras ferramentas, criando condições para as avaliações de eficiência energética que serão realizadas posteriormente.

Para realizar a análise energética, o software se integra ao software de simulação OpenStudio e à ferramenta EnergyPlus e gera um relatório com dados de consumo para aquecimento, resfriamento e gastos com iluminação e equipamentos. A análise energética é fundamental para entender o comportamento do edifício em relação ao consumo de energia e ao conforto térmico.

3.2.1 Processo de preparação do modelo para análise

Para iniciar a análise, adicionou-se ao modelo espaços e definiu-se os parâmetros utilizados, apresentados na Tabela 1. Os valores utilizados nos parâmetros foram estimados de acordo com a NBR 16401 – Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários, é necessário ressaltar que foram utilizados dados tendo em vista os espaços como sala de aula, não sendo considerados os laboratórios.

Tabela 1 – Parâmetros dos espaços

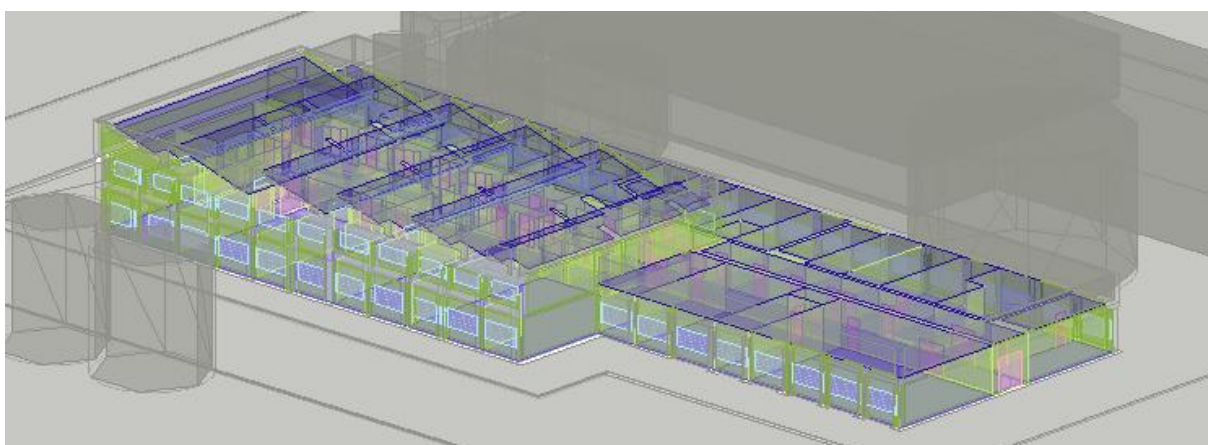
Parâmetro	Valor
Área por pessoa	6,00 m ²
Ganho de calor sensível por pessoa	70,00 W
Ganho de calor latente por pessoa	45,00 W
Densidade de carga de iluminação	8,00 W/m ²
Densidade de carga de potência	5,00 W/m ²
Infiltração de ar por área	0,60 L/(s.m ²)
Tabela de ocupação	Ocupação da universidade - 08:00 às 18:00
Tabela de iluminação	Iluminação da universidade - 08:00 às 18:00
Tabela de potência	Iluminação da universidade - 08:00 às 18:00
Ar exterior por pessoa	10,00 L/s
Ar exterior por área	5,00 L/(s.m ²)
Trocas de ar por hora	1,00
Método de ar externo	por Pessoas por Área
Ponto de definição de resfriamento	27,00 °C
Ponto de definição de umidificação	30,00%
Ponto de definição de desumidificação	70,00%

Fonte: Autor.

Após a definição dos espaços, com o objetivo de representar o edifício ao lado e as árvores ao redor, para análise de interferência da sombra no departamento de engenharia civil, foi inserido no projeto elementos de massa. As massas foram configuradas como objetos sólidos e não foram definidos pisos, para que assumissem apenas a função de obstáculo para incidência de radiação solar direta no edifício. É importante mencionar a limitação do software Revit quanto a representação das árvores na análise energética, pois apesar de inseridas no modelo, elas funcionaram somente como elemento arquitetônico; para a função térmica, houve a necessidade de inserção das massas como descritas anteriormente.

Em seguida, foi gerado o modelo analítico de energia, que utiliza os espaços para aplicar os parâmetros definidos e gerar uma representação computacional do comportamento energético da edificação. O modelo de energia cria superfícies analíticas, que são necessárias para que o software possa realizar os cálculos e avaliar o desempenho térmico da edificação de acordo com as propriedades configuradas para cada material e elemento. A Figura 18 mostra a aparência do modelo após a inserção das superfícies analíticas.

Figura 10 - Superfícies Analíticas



Fonte: Autor.

3.2.1.1 Configurações avançadas de energia

Com as superfícies analíticas prontas, realiza-se as alterações nas configurações avançadas de energia, que permitem definir os parâmetros básicos para a análise energética e influenciam diretamente nos resultados da simulação.

Primeiramente, define-se a localização geográfica, que foi ajustada para a cidade de Guaratinguetá, no estado de São Paulo, utilizando as coordenadas reais da região.

Em seguida, para preencher o dado de porcentagem de vidraças do modelo, realizou-se o cálculo da área total das janelas sobre a área total das paredes externas. Sendo a área total das paredes externas calculada pelo perímetro das paredes (178 m) vezes a altura do pé direito, de 3 metros, resulta-se em uma área de 534 m². Já o cálculo da área total das janelas, foi realizado multiplicando a área das janelas (2,9 m²) pela quantidade de janelas no modelo (50 unidades), resultando em uma área de 145 m². Por fim, dividindo 145 m² por 534 m², resulta-se em um percentual de vidraças

de aproximadamente 27%. A altura de parapeito definida foi de 0,8 metros e o percentual de claraboias foi nulo.

Posteriormente, foi especificado o tipo de construção e o perfil de ocupação dos ambientes. Essas configurações determinam os padrões de uso e as cargas internas de cada ambiente, fundamentais para simular o consumo energético de maneira realista. O tipo de construção definido foi o de escolas e universidades, e a tabela de operações da construção foi considerada a padrão, mais movimentado em dias de semana e menos movimentado em fins de semana e meses de férias. O sistema AVAC considerado foi o sistema Fan Coil com 2 tubos.

O próximo passo foi a configuração das propriedades térmicas dos materiais do modelo, primeiramente nos tipos conceituais foram estimados os dados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades dos Tipos Conceituais

Modelo de Massa	Construções
Parede externa da massa	Construção pesada – Sem isolamento
Parede interna da massa	Construção pesada – Sem isolamento
Telhado da massa	Sem isolamento – Telhado escuro
Piso de massa	Construção leve – Sem isolamento
Laje de massa	Construção pesada – Sem isolamento
Vidraça de massa	Painel único claro – Sem revestimento
Sombreado da massa	Sombra básica
Abertura da massa	Ar

Fonte: Autor.

Por fim, inseriu-se os dados estimados das propriedades térmicas dos materiais dos tipos esquemáticos, demonstrados na Tabela 3. Para os materiais em que não foi possível obter a especificação exata que foi utilizada na construção do departamento de engenharia civil, adotou-se como referência as diretrizes e recomendações presentes na NBR 15575, que estabelecem os requisitos de desempenho para edificações habitacionais e oferece parâmetros adequados para a definição de materiais em análises construtivas, permitindo uma modelagem que se aproxima das condições reais de desempenho térmico e energético esperados.

Tabela 3 – Propriedades dos Tipos Esquemáticos

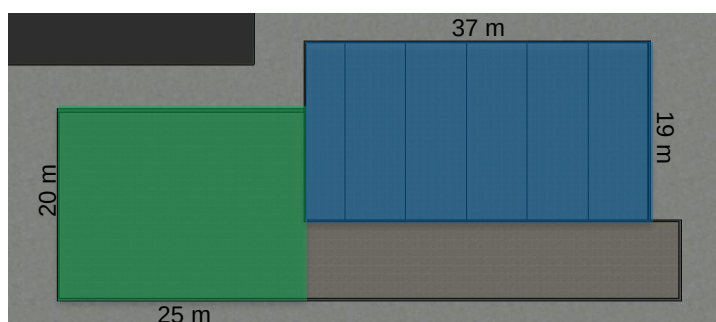
Categoria	Construção Analítica
Telhados	Placa de fibra ($U=1.3207 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)
Paredes externas	Bloco de concreto de peso pesado de 19 cm ($U=2.0846 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)
Paredes internas	Bloco de concreto de peso pesado com reboco ($U=1.7352 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)
Forros	Gesso de 2 pol ($U=2.1993 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)
Pisos	Piso passivo, sem isolamento, azulejo ou vinil ($U=2.9582 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)
Lajes	Sólido sem isolamento ($U=0.7059 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)
Portas	Madeira ($U=2.1944 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)
Janelas externas	Janelas envidraçadas dupla grandes - revestimento de absorção ($U=2.9191 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, SHGC=0.76)
Janelas internas	Janelas envidraçadas dupla grandes - revestimento de absorção ($U=2.3130 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, SHGC=0.76)

Fonte: Autor.

3.3 ANÁLISE DA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Para iniciar a análise da instalação de painéis fotovoltaicos no DEC, observa-se as possíveis áreas para instalação, apresentadas na Figura 19. A cobertura do edifício é dividida em dois níveis, a inferior possui formato duas águas e a superior em telhado shed, como mostrado nas vistas do edifício anteriormente. A cobertura superior possui uma área de aproximadamente 703 m^2 , e a inferior, para melhor aproveitamento, foi considerada somente a área que não possui influência da sombra devido à diferença de nível entre os dois telhados, de aproximadamente 500 m^2 . Resultando em uma área de aproveitamento para utilização do sistema de painéis fotovoltaicos de 1203 m^2 .

Figura 19 – Área disponível para instalação dos painéis



Fonte: Autor.

3.3.1 Potência entregue pelo sistema

A potência fornecida pelo gerador fotovoltaico é calculada através da Eq. 1.

$$P_{GFV} = P_{FV} \left(\frac{G_{POA}}{G_{STC}} \right) [1 + \alpha_p (T_c - T_{c,STC})] f_{FV} \quad (1)$$

Sendo:

P_{FV} : potência instalada do sistema fotovoltaico [kW];

G_{POA} : irradiação solar incidente no plano de arranjo fotovoltaico [kW/m²];

G_{STC} : irradiação solar incidente nas condições STC [1 kW/m²];

α_p : coeficiente de temperatura [%/°C];

T_c : temperatura da célula FV [°C];

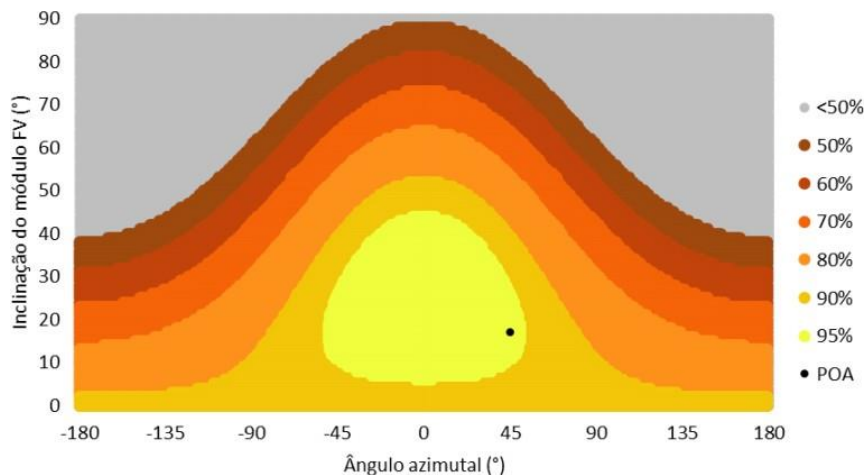
$T_{c,STC}$: temperatura da célula FV nas condições STC [25 °C];

f_{FV} : fator de redução de potência [-].

O valor da potência instalada do sistema foi fornecido pelo site comercial “Buyers Solar”, sendo o sistema de 56 kW.

O posicionamento das placas definido com base no trabalho “*Technical and Economic Analyses of a Photovoltaic Plant on a Garage Structure*” de Victor Arruda Ferraz de Campos e José Luz Silveira, onde realizou-se um estudo do ponto ótimo de posicionamento de placas fotovoltaicas na mesma cidade de estudo desse trabalho, Guaratinguetá. Portanto, o valor da irradiação solar incidente no plano de arranjo fotovoltaico foi considerado o mesmo utilizado no trabalho, de 0,886 kW/m², e a geração de energia está na faixa de 95%, como demonstrado na Figura 20.

Figura 20 – Limites de Geração FV



Fonte: Campos (2019).

Foi utilizado o valor de 1 kW/m² para a irradiação solar incidente nas condições STC (G_{STC}), de -0,005 %/°C para o coeficiente de Temperatura (α_p), de 0,842 para o fator de redução da potência (f_{FV}), de 20 °C para a temperatura da célula fotovoltaica (T_c) e 25 °C para a temperatura da célula nas condições SCT (CAMPOS; SILVEIRA, 2019).

3.3.2 Análise econômica

Segundo Campos e Silveira (2019), o custo da eletricidade produzida pode ser calculado através da Eq. 2.

$$C_{el} = \frac{I_{FV} \cdot f}{H \cdot E_p} + C_{man} \quad (2)$$

Sendo:

f : fator de anuidade [1/ano];

I_{FV} : investimento da planta fotovoltaica [US\$];

H : horas de operação da planta fotovoltaica [horas];

E_p : Energia produzida pela planta fotovoltaica [kW];

C_{man} : custo de manutenção [US\$/kWh].

O fator de anuidade (f), é dado pela Eq. 3, em função do período de amortização do investimento k [anos] e do valor da taxa de juros i [%].

$$f = \frac{q^k(q-1)}{q^{k-1}}, \text{ sendo } q = 1 + \frac{i}{100} \quad (3)$$

A receita anual esperada R [US\$] é calculada pela Eq. 4.

$$R = E_p \cdot H \cdot (C_{ele} - C_{el}) \quad (4)$$

Sendo:

C_{ele} : tarifa de eletricidade da rede local [US\$/kWh].

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 MODELAGEM REVIT

Neste módulo será apresentado o resultado da modelagem da edificação. Nas Figuras 10 a 17 estão representadas as vistas 3D, superior, posterior, frontal, lateral esquerda, lateral direita e as plantas do piso térreo e do piso superior da edificação modelada, respectivamente.

Figura 11 – Vista 3D do Departamento de Engenharia Civil



Fonte: Autor.

Figura 12 – Vista Superior do Departamento de Engenharia Civil



Fonte: Autor.

Figura 13 – Vista Posterior do Departamento de Engenharia Civil



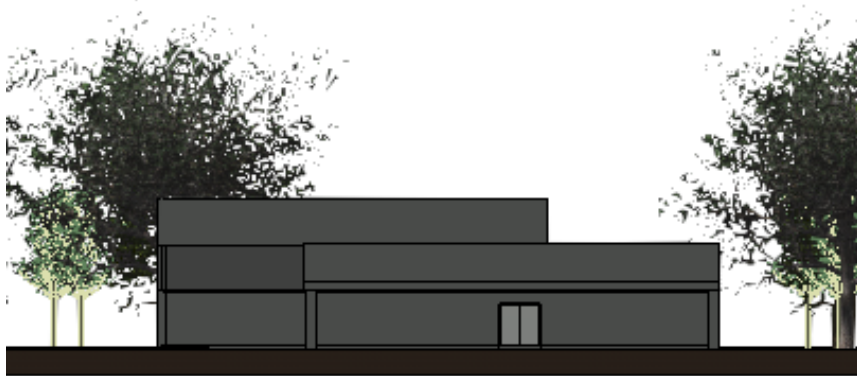
Fonte: Autor.

Figura 14 – Vista Frontal do Departamento de Engenharia Civil



Fonte: Autor.

Figura 15 – Vista Lateral Esquerda do Departamento de Engenharia Civil



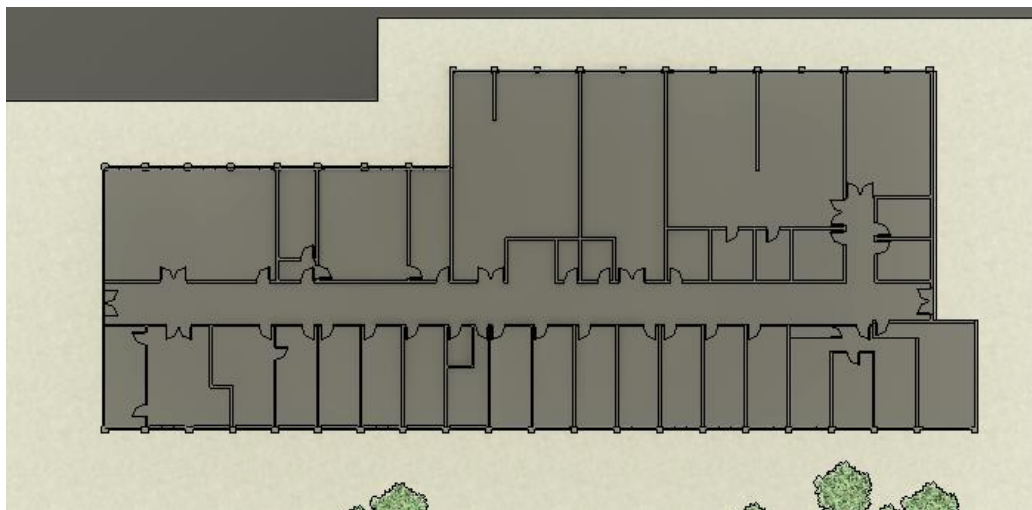
Fonte: Autor.

Figura 16 – Vista Lateral Direita do Departamento de Engenharia Civil



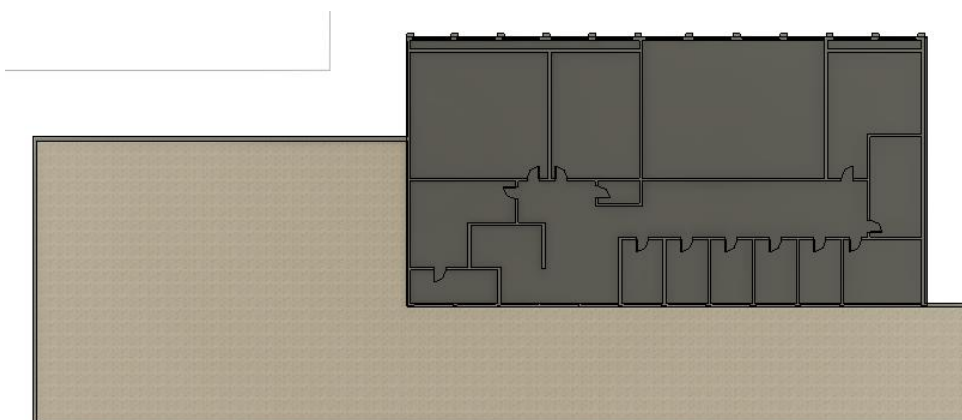
Fonte: Autor.

Figura 17 – Planta Piso Térreo do Departamento de Engenharia Civil



Fonte: Autor.

Figura 18 – Planta Piso Superior do Departamento de Engenharia Civil



Fonte: Autor.

4.2 RELATÓRIOS OPENSTUDIO

Após finalizados os *inputs* das configurações de energia, foi gerado o relatório de simulação anual de energia, que forneceu os alguns dados quanto o consumo de energia, a distribuição por uso final, os picos de demanda e a intensidade energética. Para fins de comparação, gerou-se dois relatórios distintos, um considerando somente o edifício, sem influência das áreas externas e outro considerando o edifício e seus arredores, incluindo a sombra de outros edifícios e dos indivíduos arbóreos.

4.2.1 Relatório do edifício com influência das áreas externas

Primeiramente, observa-se no relatório gerado considerando o edifício com a influência das áreas externas, os dados de usos finais de energia na visão anual, apresentados no Tabela 4.

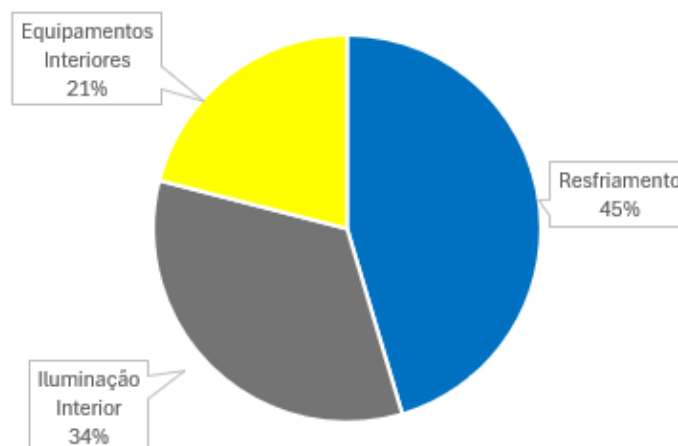
Tabela 4 – Consumo de energia anual considerando as sombras das áreas externas

Uso Final	Consumo [kWh]
Resfriamento	29317
Iluminação Interior	21697
Equipamentos Interiores	13561
Total	64575

Fonte: Autor.

Para melhor visualização dos dados, a porcentagem que cada uso final representa no consumo total foi representada na Figura 21.

Figura 21 – Usos finais de energia do DEC considerando as sombras das áreas externas – Anual

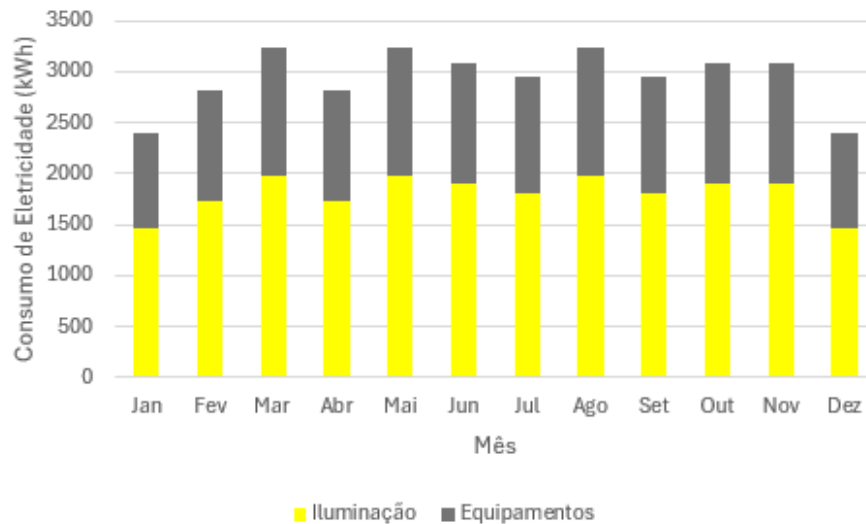


Fonte: Autor.

Pode-se observar que a maior parte da energia é destinada para o resfriamento do edifício, com 45%. Em segundo lugar fica o consumo para iluminação interior, com 34%. E por último, o consumo dos equipamentos interiores, com 21%.

Posteriormente, foi analisado mais detalhadamente os usos de energia, agora na visão geral mensal. Pode-se observar na Figura 22 o consumo de eletricidade, em kWh, para os equipamentos interiores e iluminação interior.

Figura 22 – Consumo de eletricidade em equipamentos e iluminação – Visão Mensal

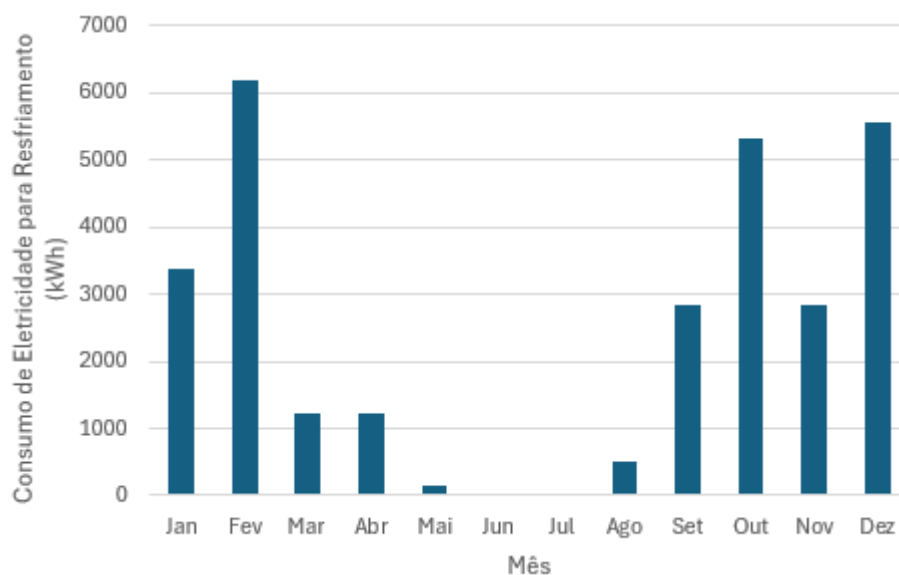


Fonte: Autor.

Observa-se que o consumo de equipamentos e iluminação se mantém aproximadamente em equilíbrio ao longo de todo o ano, sendo levemente inferior nos meses de janeiro e dezembro, pois considera-se o período de recesso de fim de ano da universidade.

Na Figura 23, pode-se observar o consumo de eletricidade para resfriamento do edifício em uma visão mensal, também contabilizado em kWh.

Figura 23 – Consumo de eletricidade para resfriamento – Visão Mensal



Fonte: Autor.

Analisando o gráfico, percebe-se que o consumo de energia para resfriamento é menor nos meses entre maio e agosto, e isso se deve a esse ser o período com

temperaturas mais amenas na cidade de Guaratinguetá, o que reduz a necessidade do condicionamento de ar. Já nos meses de setembro a fevereiro, o consumo de energia é bem mais alto, sugerindo que o sistema de resfriamento é intensamente utilizado para manter o conforto térmico durante esses períodos devido as altas temperaturas que a cidade pode atingir nesses meses.

4.2.2 Relatório do edifício sem influência das áreas externas

No relatório gerado considerando somente o edifício, simulando a ausência de sombras de outras edificações e dos indivíduos arbóreos, foram observados os seguintes dados apresentados na Tabela 5, na tabela também foi incluído os valores com a influência das áreas externas para fins de comparação.

Tabela 5 – Comparação do consumo de energia anual por uso final do edifício considerando ou não a sombra dos elementos da área externa

Uso Final	Consumo com sombras [kWh]	Consumo sem sombras[kWh]
Resfriamento	29317	30681
Iluminação Interior	21697	21697
Equipamentos Interiores	13561	13561
Total	64575	65939

Fonte: Autor.

Analisando os valores apresentados na tabela acima, observa-se que o consumo do modelo que considera a presença das árvores e a sombra do edifício ao lado é menor, consumindo 1364 kWh a menos do que no modelo que não considera essas sombras. Sendo a diferença observada no consumo de energia para resfriamento, não houve alteração no consumo para iluminação e equipamentos.

Essa análise reforça a importância de elementos sombreados em climas quentes para reduzir o consumo de energia associado ao resfriamento. Nos demais resultados, dos consumos na visão mensal, manteve-se o padrão do relatório considerando as áreas externas, onde o consumo de eletricidade para equipamentos e iluminação se mantém praticamente constante ao longo dos meses e o consumo para resfriamento é maior nos meses de verão.

4.3 ANÁLISE DA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Observando o consumo anual do edifício estimado pelo Revit, de aproximadamente 64575 kWh, com base na equação de potência fornecida pelo gerador fotovoltaico, estima-se que um sistema com 56 kW de potência instalada seria o suficiente para suprir o consumo do DEC, pois geraria aproximadamente 78113 kWh por ano considerando 5 horas pico por dia.

Realizou-se buscas no site comercial “Buyers Solar”, e constatou-se que um sistema com 56 kW possui as características apresentadas na Tabela 6. Com vida útil de 87,4% aos 30 anos.

Tabela 6 – Componentes sistema de 56 kW

Componentes do gerador de energia fotovoltaico de 56 kWp
100 Módulos Fotovoltaicos TSUN TS560S8B 560Wp 21,7% Eficiência
1 Inversor Solar SAJ
1 String Box Compatível com o Sistema
25 Kit de Estrutura de Fixação para 4 Módulos
360 Metros de Cabo Solar Flexível 6MM 1,8KV Preto
360 Metros de Cabo Solar Flexível 6MM 1,8KV Vermelho
Conector MC4 compatível

Fonte: Buyers Solar (2024).

Quanto aos dados mecânicos, os módulos fotovoltaicos possuem dimensões de 2261 mm de comprimento, 1134 mm de largura e 30 mm de altura. O peso do sistema sobre o telhado é de 18 kg/m² e a área mínima exigida para o sistema é de 300 m². Portanto, seria viável sua instalação tanto na cobertura do nível inferior do edifício, que possui uma área disponível de 500 m², quanto na cobertura do nível superior, que possui uma área de aproximadamente 700 m².

4.3.1 Análise Econômica

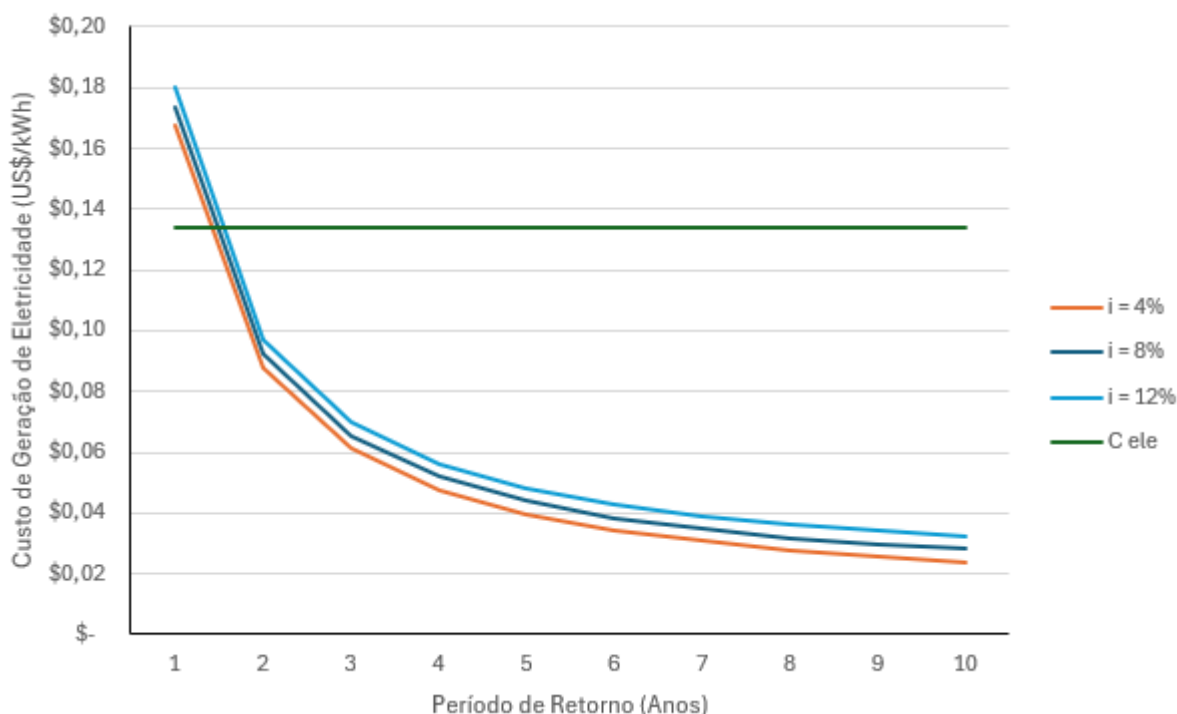
Para realizar a análise econômica, consultou-se o valor do sistema de 56 kW no site comercial “Buyers Solar”, o valor encontrado foi de R\$ 92.745,49. Considerando que atualmente 1 dólar equivale a 5,80 reais, o valor do sistema é de aproximadamente USD 15.990,60.

Estima-se que anualmente, cerca de 3% do valor total investido seja destinado à manutenção. Considerou-se para a análise 1825 horas de operação da planta fotovoltaica, o que corresponde a 5 horas de pico solar por dia. A tarifa de eletricidade

da rede local adotada foi de US\$ 0,134, ou seja, R\$ 0,775, que é a média ponderada entre considerando a tarifa local de eletricidade, de R\$ 0,740 e os acionamentos das bandeiras tarifárias ao longo do ano, sendo bandeira verde (nenhum acréscimo na tarifa), bandeira vermelha patamar 1 (acrécimo de 0,04 R\$/kWh), bandeira vermelha patamar 2 (acrécimo de 0,08 R\$/kWh) e bandeira amarela (acrécimo de 0,019 R\$/kWh).

Com base na equação para o cálculo do custo da eletricidade produzida e variando as taxas de juros (i) em 4%, 8% e 12%, gerou-se a curva apresentada na Figura 24.

Figura 24 – Custo da produção de energia do sistema de 56 kW

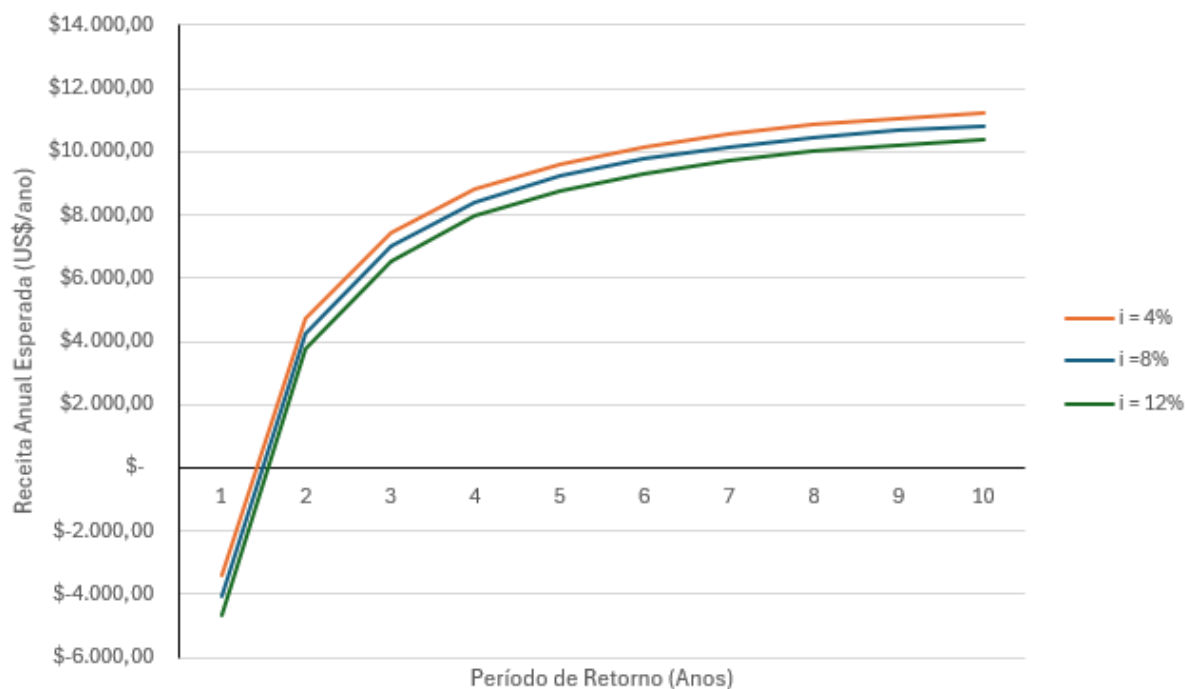


Fonte: Autor.

A partir do gráfico apresentado, observa-se que o custo de geração de eletricidade apresenta uma redução significativa nos primeiros anos de operação, devido à amortização do investimento inicial. No início a energia gerada pelo sistema fotovoltaico possui um custo maior do que o custo da eletricidade da rede local (C_{ele}), porém, a partir de pouco mais de um ano, o custo da eletricidade gerada pelo sistema fotovoltaico torna-se inferior. Nota-se também que, para taxas de desconto mais baixas, o custo de geração é menor ao longo do tempo.

Posteriormente, com base na equação da receita anual esperada e variando as taxas de juros (i) em 4%, 8% e 12%, assim como na análise dos custos, gerou-se a curva apresentada na Figura 25.

Figura 25 – Receita a partir da produção de energia do sistema de 56 kW



Fonte: Autor.

Analisando o gráfico, nota-se que o tempo de recuperação do investimento (*payback*) seria em média de aproximadamente 1 ano e 6 meses, sendo diretamente influenciado pela taxa de desconto, quanto menor a taxa, menor o tempo de recuperação do investimento. Os resultados demonstram que, apesar do elevado investimento inicial, o sistema fotovoltaico é uma solução sustentável e economicamente vantajosa.

5 CONCLUSÕES

A partir do estudo realizado, conclui-se que a eficiência energética do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da UNESP, campus de Guaratinguetá, pode ser significativamente melhorada por meio da integração de estratégias passivas e ativas de eficiência energética. A análise realizada com a modelagem no software Revit integrado com o software *OpenStudio* e *EnergyPlus* permitiu uma avaliação abrangente do consumo energético atual do edifício e das possíveis intervenções para reduzir seu impacto ambiental.

Os resultados das simulações demonstraram que estratégias passivas, como sombreamento natural e escolha de materiais construtivos adequados, possuem impacto significativo na redução do consumo de energia, especialmente no resfriamento. Adicionalmente, a integração de fontes renováveis de energia, como sistemas fotovoltaicos, mostrou-se viável tanto em termos técnicos quanto econômicos. A instalação de um sistema fotovoltaico de 56 kW na cobertura do DEC atenderia todo o consumo energético do edifício, dispondo de um *payback* de aproximadamente 1 ano e 6 meses, apontando para uma eficiente recuperação do investimento inicial.

A implementação dessas soluções de eficiência energética alinharia o edifício aos princípios de energia zero e posicionaria a UNESP como uma referência no uso de tecnologias sustentáveis, promovendo práticas que beneficiam tanto a comunidade acadêmica quanto o meio ambiente.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, é válido realizar uma análise detalhada dos equipamentos presentes no edifício, incluindo os equipamentos dos laboratórios e verificar de forma teórica o consumo energético total do edifício considerando também a obsolescência dos equipamentos presentes. Poderia ser analisado o quanto de energia seria economizada se fossem plantadas diversas árvores ao redor do edifício e o quanto isso impactaria na eficiência energética. Seria interessante também, avaliar o máximo de energia gerada pelos painéis fotovoltaicos se fossem utilizadas todas as áreas de cobertura disponíveis no DEC, avaliando a distribuição de energia excedente para outros departamentos do campus.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, K. C. de F. J.; SOUZA, R. G. V. de. Estimativa da evolução do uso final de energia elétrica no setor residencial do Brasil por região geográfica. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 383-408, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/MC5DNWHS46jH6hCKKtCzFCc/>. Acesso em: 10 nov. 2024.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e o sistema de compensação de energia elétrica. **Diário Oficial da União**, Brasília, Distrito Federal, 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 2 nov. 2024.

BARZAN NETO, A. **Análise da eficiência energética de uma edificação residencial através da nova proposta brasileira de etiquetagem de edificações**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/188203530>. Acesso em: 15 out. 2024.

CAMPOS, V. A. F. de. **Aspectos técnicos, econômicos e ambientais de sistemas híbridos aplicados em edificações familiares e propriedades rurais**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/d86d9def-e6c4-48d1-b12a-c296ba0e8853>. Acesso em: 16 out. 2024.

CAMPOS, V. A. F. de *et al.* A review of waste management in Brazil and Portugal: waste-to-energy as pathway for sustainable development. **Renewable Energy**, Amsterdã, v. 178, p. 802-820, 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148121009733?casa_token=rZjaGHYrcqYAAAAA:D0DOKAE0jtjTSixtVMLaoCIGTKg2LTpzf6tYKEhKbjdsdijmTeAHuEOgE_NproiqEpXk5IFHF4Y. Acesso em: 10 nov. 2024.

CAMPOS, V. A. F. de; SILVEIRA, J. L. Technical and economic analyses of a photovoltaic plant on a garage structure. *In*: LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION (CLAGTEE), 13., 2019, Santiago, Chile. **Anais** [...]. Santiago: CLAGTEE, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Victor-Arruda-Ferraz-De-Campos/publication/337060236_Technical_and_Economic_Analyses_of_a_Photovoltaic_Plant_on_a_Garage_Structure/links/5dc2e8d7a6fdcc21280bb0cc/Technical-and-Economic-Analyses-of-a-Photovoltaic-Plant-on-a-Garage-Structure.pdf. Acesso em: 10 nov. 2024.

COELHO, D. F. B.; CRUZ, V. H. do N. Eficiência energética nas edificações. **Edifícios inteligentes: uma visão das tecnologias aplicadas**, São Paulo, p. 61-88, 2017. Disponível em: <https://openaccess.blucher.com.br/article-details/eficiencia-energetica-nas-edificacoes-20285>. Acesso em: 10 nov. 2024.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Ações para promoção da eficiência energética nas edificações brasileiras**: no caminho da transição energética. NT DEA-SEE-007, 2020. Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/NT%20DEA-SEE-007-2020.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2023.

GARCIA, M. da S. *et al.* Eficiência energética e conforto térmico em edifícios universitários: a importância de uma perspectiva integrada para a adaptação aos novos tempos. **Revista da UFMG**, Belo Horizonte, v. 28, n. 1, p. 148–179, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistadaufmg/article/view/26714>. Acesso em: 2 out. 2024.

GHISI, E.; GOSCH, S.; LAMBERTS, R. Electricity end-uses in the residential sector of Brazil. **Energy Policy**, v. 35, n. 8, p. 4107–4120, 2007. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_ic/IC2009_Natalia.pdf. Acesso em: 10 nov. 2024.

GUI, X.; GOU, Z.; LU, Y. Energy & buildings reducing university energy use beyond energy retrofitting: The academic calendar impacts. **Energy & Buildings**, Amsterdã, v. 231, p. 1–11, 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778820334332?casa_token=MEWskejvoJAAAAA:0fstDtCme2T6JRZKjv_9CGf_9kX4dHFqdrRJ1PVIRQ6pFndfdFYFlz4holravu1JUXnIHZhgA. Acesso em: 12 nov. 2024.

KHOSHBAKHT, M.; GOU, Z.; DUPRE, K. Energy use characteristics and benchmarking for higher education buildings. **Energy & Buildings**, Amsterdã, v. 164, p. 61–76, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778817331717?casa_token=esLMwpmVO5oAAAAA:9k3Pmw7FxxEy010U6Pfl5EsuRBZK3jdenZ0JPlfAzNfONKwNeH2cEEe2MAHCPLJAFVdgDV_I7U. Acesso em: 14 nov. 2024.

LOPES, A. do C. P. *et al.* Energy efficiency labeling program for buildings in Brazil compared to the United States' and Portugal's. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 66, p. 207–219, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116303616?casa_token=eGHMCDp77VcAAAAA:kWWPuSqrMUmEzghncK5xjWOlayX3GZSHjxyiRCDL0YYr7AIPjQbinH84sVvwKW1sZ8ZgHpsO48. Acesso em: 14 nov. 2024.

LU, Y.; WANG, S.; SHAN, K. Design optimization and optimal control of grid-connected and standalone nearly/net zero energy buildings. **Applied Energy**, Oxford, v. 155, p. 463–477, 2015. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0306261915007655?token=998DC5A7FE50B209C5CB612AC44B3DCFEE2234C2B123B14054840A316167079686D338359F9EB7DF9E4897AD0D54E0C9>. Acesso em: 15 jul. 2023.

MELO, T. da C. **Eficiência energética e conforto térmico em edificações em Recife utilizando o Energyplus**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/30969/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Thiago%20da%20Costa%20Melo.pdf>. Acesso em: 14 out. 2024.

MENDES, D. F. de Q. P. *et al.* **O novo desafio dos NZEB (Nearly Zero Energy Buildings)**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e Computadores) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2018. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/115801/2/289051.pdf>. Acesso em: 14 out. 2024.

NOGUEIRA, F.; PAIVA, D.; RESENDE, C. A tecnologia fotovoltaica de película fina. Afinal como estamos?. **Neutro à Terra**, Porto, n. 12, p. 11-16, 2013. Disponível em: https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/3567/1/ART_FabioNogueira_2013_NAT.pdf. Acesso em: 14 out. 2024.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável no Brasil**. v. 7, p. 2526-0219, 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 15 jul. 2023.

WACKERNAGEL, M.; REES, W. **Our ecological footprint: reducing human impact on the earth**. Gabriola Island, BC: New society publishers, 1998. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=WVNEAQAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=Our+ecological+footprint:+reducing+human+impact+on+the+earth.+New+society+publishers,+1998.&ots=VnUMaRqPLr&sig=9CRY1st1PxRjJmcPBVa8iTylsLI&redir_esc=y#v=onepage&q=Our%20ecological%20footprint%3A%20reducing%20human%20impact%20on%20the%20earth.%20New%20society%20publishers%2C%201998.&f=false. Acesso em: 12 nov. 2024.