

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
Área de concentração: Infraestrutura e Meio
Ambiente

Dissertação de Mestrado

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E
ECONÔMICA PARA EDIFICAÇÃO
UNIVERSITÁRIA ZERO ENERGY BUILDING

Sidnei Matana Júnior

Passo Fundo
2022



CIP – Catalogação na Publicação

M425e Matana Junior, Sidnei

Estudo de viabilidade técnica e econômica para edificação universitária *Zero Energy Building* [recurso eletrônico] / Sidnei Matana Junior. – 2022.

7 MB ; PDF.

Orientador: Prof. Dr. Vandr e Barbosa Brião.

Coorientador: Prof. Dr. Marcos Antonio Leite Frandoloso.

Disserta o (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Passo Fundo, 2022.

1. Eficiência energética. 2. Energia solar. 3. Retrofit. 4. Neutralidade de carbono. 5. Edifícios. I. Brião, Vandr e Barbosa, orientador. II. Frandoloso, Marcos Antonio Leite, coorientador. III. Título.

CDU: 624

Cataloga o: Bibliotecária Jucelei Rodrigues Domingues - CRB 10/1569

Sidnei Matana Júnior

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA
EDIFICAÇÃO UNIVERSITÁRIA ZERO ENERGY BUILDING

Dissertação de mestrado, apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, do ITec - Instituto de Tecnologia da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do título de Mestre, sob a orientação do Prof. Dr. Vandré Barbosa Brião e coorientação do Prof. Dr. Marcos Antonio Leite Frandoloso.

Passo Fundo

2022

Sidnei Matana Júnior

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA
EDIFICAÇÃO UNIVERSITÁRIA ZERO ENERGY BUILDING

Dissertação de mestrado, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, do ITec - Instituto de Tecnologia da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do título de Mestre, sob a orientação do Prof. Dr. Vandrê Barbosa Brião e coorientação do Prof. Dr. Marcos Antonio Leite Frandoloso.

Data da aprovação: 25 de abril de 2022

Professor Dr. Vandrê Barbosa Brião

Orientador

Professor Dr. Marcos Antonio Leite Frandoloso

Coorientador

Professora Dra. Luciana Londero Brandli

Banca Interna; Universidade de Passo Fundo

Professora Dra. Natalia Hauenstein Eckert

Banca Externa; Universidade de Cruz Alta

Professor Dr. Eduardo Grala da Cunha

Banca Externa; Universidade Federal de Pelotas

“Quando falo que a sorte segue a
coragem, não se trata de uma sorte
esvaziada de perícia, de habilidade e de
competência.”

(Mário Sérgio Cortella)

AGRADECIMENTOS

À Universidade de Passo Fundo pela bolsa de mestrado que possibilitou a realização desta pesquisa e por ser a minha casa desde 2011, onde realizei toda a minha formação acadêmica.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Vandr e Barbosa Brião, pelas orienta es e conselhos, por elevar o potencial desta pesquisa através dos sistemas fotovoltaicos do L1 e por contribuir na minha forma o como pesquisador.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Marcos Antonio Leite Frandoloso, pelas orienta es e conselhos, materiais e equipamentos, participa o em pesquisas, editais de fomento e por oportunizar ministrar minhas primeiras aulas através do estágio docente.

Ao Rangel Casanova Daneli, Engenheiro Eletricista da UPF, que contribuiu com informa es e dados essenciais para a realiza o deste trabalho e, também, aos demais funcionários da UPF por sua disponibilidade durante a realiza o dos levantamentos.

  minha mãe Neusa Machado (*in memorian*), por ter me incentivado a seguir a carreira na docência, desde que esse caminho me trouxesse sentido, felicidade e realiza o, independente das escolhas a serem feitas. Esta conquista também   sua, onde estiver, sei que está orgulhosa.

Ao meu pai Sidnei Matana,   minha irmã Patricia,   minha madrinha e segunda mãe Nilza e, às minhas avós Maria (*in memorian*) e Sara por todo o carinho e apoio, por me incentivarem a seguir firme neste caminho e pelos valores que construímos como família, esta conquista também   de vocês.

  minha namorada Larissa, pelo amor, apoio, companheirismo e por me fazer uma pessoa cada vez melhor nestes últimos 9 anos, sabemos todo o esforço dessa jornada e esta conquista também   sua.

Ao meu cunhado Matheus, pelo apoio e assessoramento nas avalia es econ micas.

Aos demais familiares, amigos, colegas e professores que também me apoiaram e fizeram parte desta jornada.

 s empresas Lumenk e Lumibrise pelos orçamentos e orienta es fornecidos para a realiza o da avalia o econômica deste estudo.

RESUMO

As questões referentes às matrizes energéticas e à garantia do fornecimento de energia são temas da Agenda 2030 por meio do ODS7 (Objetivo do Desenvolvimento Sustentável 7). A energia elétrica desempenha um papel chave na transição de uma matriz de combustíveis fósseis para uma matriz de energias renováveis e limpas, reduzindo emissões e contribuindo na mitigação de mudanças climáticas. Nesse contexto, as edificações figuram entre os principais consumidores de energia elétrica e, o conceito de edifícios autossuficientes em energia, ou *Zero Energy Buildings (ZEB)*, objetiva reduzir o consumo de energia através de estratégias de eficiência energética e utilizar fontes renováveis para compensar o consumo. A pesquisa tem como objetivo geral avaliar a viabilidade técnica e econômica da aplicação de estratégias de eficiência energética e de energia renovável para tornar uma edificação universitária um *Zero Energy Building*, de forma a garantir o balanço energético. Foi realizada a caracterização do edifício L1 do Campus I da Universidade de Passo Fundo, com dados coletados sobre as características construtivas, uso e ocupação, consumo de energia e geração de energia renovável. Após, foram definidas as estratégias de retrofit dos sistemas de iluminação e climatização e aproveitamento de iluminação natural, que permitiriam a redução de 18,02% do consumo atual do prédio, além da melhora das condições de conforto nos ambientes internos. O sistema de energia renovável instalado no local forneceu a taxa de desempenho utilizada para projetar os cenários de autossuficiência do edifício. Os três cenários de autossuficiência propostos, selecionados dentre outros, tiveram tempo de retorno aceitável quando considerados os subsídios de programas de eficiência energética, variando de 2 até 14 anos para o retorno do investimento. O edifício oferece viabilidade técnica e econômica para tornar-se um *Zero Energy Building* devido à orientação solar, à área de telhado disponível e ao potencial para a redução do consumo, contribuem como um modelo de verificação de estratégias de eficiência energética a serem replicadas para outras tipologias de edificações, a fim de estabelecer uma rede integrada de edifícios autossuficientes em energia. Dessa forma, a pesquisa contribui para a discussão e proposição de uma infraestrutura resiliente e sustentável, para a mitigação das mudanças climáticas e atendimento às metas do ODS7 da Agenda 2030.

Palavras-chave: *Netzero*; Eficiência energética; Energia fotovoltaica; LEED; Retrofit.

ABSTRACT

Issues related to energy matrices and the energy supply guarantee are themes of the 2030 Agenda through SDG7 (Sustainable Development Goal 7). Electricity plays a leading role in the fossil fuels energy matrix transition to a matrix with renewable and clean energies, reducing greenhouse gas emissions and contributing to climate change mitigation. In this context, buildings are among the leading electricity consumers, and self-sufficient energy buildings or Zero Energy Buildings (ZEB) concept aims to reduce energy consumption through energy efficiency strategies and offset consumption with renewable energy sources. The study main objective is to evaluate the technical and economic feasibility of applying energy efficiency and renewable energy strategies to make a university building a Zero Energy Building, in order to guarantee the energy balance. The characterization of the L1 building of the University of Passo Fundo was carried out, with data collected on constructive characteristics, use and occupation, energy consumption, and renewable energy generation. After that, the retrofit strategies of the lighting and air conditioning system and the use of natural lighting were defined, which will allow a reduction of 18.02% in the current consumption of the building, in addition to improving the comfort conditions in the internal environments. The on-site renewable energy system provided the performance rating used to design the building's self-sufficiency scenarios. The three proposed self-sufficiency scenarios, selected among others, had a payback time acceptable when considering subsidies for energy efficiency programs, ranging from 2 to 14 years for the return on investment. The building offers technical and economic feasibility to become a Zero Energy Building, due to solar orientation, available roof area, and potential for consumption reduction, contributing as a model for verifying energy efficiency strategies to be replicated for other types of buildings, in order to establish an integrated network of energy self-sufficient buildings. In this way, the research contributes to the discussion and proposition of resilient and sustainable infrastructure, to mitigate climate change and meet the goals of SDG7 of the 2030 Agenda.

Keywords: Netzero; Energy Efficiency; Solar PV; LEED; Retrofit.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1. Problema de pesquisa	11
1.2. Justificativa.....	14
1.3. Objetivos	17
1.3.1 <i>Objetivo geral</i>	17
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	17
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1. Agenda 2030, mudanças climáticas, produção e consumo de energia elétrica	18
2.2. Matrizes energéticas – Global, Brasil e Rio Grande do Sul.....	24
2.3. Energias renováveis e geração distribuída	28
2.4. Eficiência energética e certificações ambientais	35
2.5. Ações de eficiência energética nos Campus universitários.....	39
2.6. Retrofit de edificações – Definição e principais estratégias.....	44
2.7. Edificações zero energia.....	50
2.8. Avaliação do retorno financeiro de projetos	56
2.9. Síntese da revisão	59
3. METODOLOGIA.....	60
3.1. Classificação da pesquisa	60
3.2. Caracterização da área de estudo.....	61
3.3. Determinação de demanda e consumo de energia elétrica.....	63
3.4. Medição dos níveis de iluminação natural e artificial <i>in loco</i>	64
3.5. Desempenho térmico do fechamento vertical (opaco e transparente).....	67
3.6. Medição e estimativa de geração de energia fotovoltaica	67
3.7. Propostas de retrofit e geração de energia renovável	70
3.8. Avaliação da taxa de retorno do investimento	72
3.9. Verificação das condições de autossuficiência em energia.....	73
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
4.1. Caracterização do edifício	75
4.1.1 Dados estáticos	75
4.1.2 Dados dinâmicos	80
4.2. Avaliação.....	86
4.2.1 Envoltória	86
4.2.2 Iluminação natural	87

4.2.3 Sistema de iluminação artificial	95
4.2.4 Desempenho térmico do fechamento vertical (opaco e transparente).....	102
4.2.5 Geração de energia renovável.....	108
4.3. Diagnóstico.....	111
4.3.1 Atendimento dos parâmetros luminotécnicos.....	112
4.3.2 Retrofit, potencial de redução de consumo e indicadores de ecoeficiência	112
4.3.3 Potencial de geração de energia renovável.....	119
4.4. Cenários de autossuficiência	121
4.4.1 Cenário 1	123
4.4.2 Cenário 2	124
4.4.4 Cenário 3	125
4.5. Avaliação econômica.....	126
4.5.1 Cenário 1	127
4.5.2 Cenário 2	128
4.5.3 Cenário 3	129
4.5.4 Análise da viabilidade e implicações práticas	131
5. CONCLUSÃO.....	136
REFERÊNCIAS	137
APÊNDICE A – Imagens termográficas	155
APÊNDICE B – Geração Fotovoltaica <i>in loco</i>	161
APÊNDICE C – Fluxos de caixa dos cenários de autossuficiência	162
ANEXO A – Formulário GBC zero energy	171

1 INTRODUÇÃO

A energia, seja na forma de combustível, eletricidade ou calor, é necessária para a realização das mais diversas atividades humanas, inclusive as essenciais como moradia, alimentação, locomoção e trabalho. A energia elétrica, além de constituir uma infraestrutura para a realização dessas atividades, também é um indicador de desenvolvimento econômico, pois a disponibilidade, o acesso e a confiabilidade do fornecimento de eletricidade oferecem condições para moradias dignas e para a ampliação das atividades produtivas.

Entretanto, em nível global, a produção de energia elétrica ainda provém de fontes não renováveis e poluentes, que geram diferentes impactos relacionados às mudanças climáticas, principalmente pela queima de combustíveis fósseis que geram emissões. A transição para uma matriz de energia elétrica de fontes de energia renováveis e limpas, além da confiabilidade, disponibilidade e eficiência, poderá produzir impactos benéficos ao meio construído e natural. A Agenda 2030 da ONU trata a questão da energia em seu Objetivo 7, energia limpa e acessível, com vistas a melhorar a eficiência energética e introduzir fontes renováveis, além da ampliação do acesso e confiabilidade nas infraestruturas do setor.

As residências e as indústrias são as maiores consumidoras de energia elétrica, sendo que nas edificações a maior parte do consumo pode estar atribuída aos sistemas de iluminação e climatização. Nesse sentido, projetar novas edificações e adaptá-las para que tenham um alto desempenho energético poderá contribuir com o ODS 7 como um todo, em especial, ao introduzir o conceito de edifícios autossuficientes em energia ou *Zero energy Buildings (ZEB)*, uma abordagem que alia a melhoria da eficiência energética e a inserção de fontes de energia renovável para que o edifício alcance o equilíbrio energético, ou seja, produza a mesma quantidade de energia que consome e, se possível, também gere energia excedente.

Este trabalho aborda a temática de edifícios autossuficientes em energia a partir de um estudo de caso de uma edificação universitária, analisando a viabilidade técnica e econômica de estratégias de eficiência energética e energia renovável aplicáveis ao objeto de estudo, bem como esse conceito pode contribuir para o desenvolvimento da infraestrutura sustentável, além de suas implicações sociais, ambientais e como essas estratégias podem ser replicadas para o ambiente construído.

1.1. Problema de pesquisa

O acesso à energia, o aumento da demanda, a eficiência energética e a inclusão de fontes de energia renovável são temas do Objetivo 7 – Energia limpa e acessível, que constitui um dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU, 2020a), uma ação global com estratégias para promover bem-estar, prosperidade e erradicar a pobreza, aliadas à proteção do meio natural e mitigação das mudanças climáticas (ONU, 2020b). O estabelecimento dessas diretrizes e as metas pela ação global podem contribuir de maneira significativa para implantar ações voltadas para a sustentabilidade, inclusive no setor energético.

A eficiência energética pode ser compreendida como o uso de uma estratégia que reduza o consumo de energia sem reduzir o nível de serviço, ou seja, essas ações aumentam a razão entre a energia produzida e consumida, estando também relacionadas ao aumento de lucratividade, redução de custos de manutenção e operação, além do aumento na qualidade dos processos (NETO et al. 2021). Desse modo, a melhoria desse indicador permite ganhos não somente econômicos, mas também para os usuários das edificações e redução dos impactos ao meio natural. Conforme a *International Energy Agency* (IEA, 2019a), as estratégias de eficiência energética podem induzir o desenvolvimento econômico aliado à redução de emissões, entretanto, a intensidade de energia primária, indicador que representa a quantidade de energia utilizada pela economia global, apresentou melhoria de 1,2% em 2019; contudo, essa foi a menor taxa desde 2010, mantendo a tendência de redução.

O consumo global de eletricidade reduziu em 1,1% em 2020, a primeira redução desde 2009, em contraponto ao crescimento de 2009 a 2018. A redução de consumo deve-se à pandemia de COVID-19, a qual impactou grandes consumidores, como os Estados Unidos, a União Europeia, o Japão, a Índia e, também, os países da América Latina. A exceção é a China, que corresponde a 29% do consumo de eletricidade mundial e apresentou crescimento de 3,1% em 2020 (ENERDATA 2021a). A geração de energia também foi afetada pela pandemia devido à redução da demanda, levando a uma queda de 0,6% na geração, seguindo a tendência de redução desde 2019 (ENERDATA, 2021b). Mesmo com a redução recente da demanda, é necessário projetar os cenários do aumento da demanda para os anos seguintes, à medida em que ocorra a recuperação econômica global e o fim das restrições pandêmicas, de modo a delinear estratégias para supri-la.

Conforme o Balanço Energético Nacional 2021 da Empresa de Pesquisa Energética - EPE (EPE, 2021), referente aos índices de 2020, a energia elétrica no Brasil apresentou 1,0%

de redução no consumo em razão do decréscimo de 10,4% do consumo pelo comércio, mesmo com expansão da demanda do setor residencial em 4,0%. A oferta interna de energia elétrica no Brasil recuou 0,8% em relação ao ano anterior devido à queda na produção hidrelétrica, porém, a geração de energia fotovoltaica cresceu 61,5%, atingindo 10.750 MW, sendo que 84,8% da matriz elétrica é composta por energias renováveis. As emissões de carbono pela geração de energia elétrica no Brasil atingiram 78,8 kg CO₂-eq/MWh em 2020, a termo de comparação, a China emitiu 684,9 kg CO₂-eq/MWh em 2018, além disso, as perdas referentes à energia elétrica ficaram em torno de 16,4% em 2019, conforme a EPE.

A redução das chuvas no Brasil a partir de 2020 vem ocasionando a redução dos níveis dos reservatórios, afetando usinas de geração hidrelétrica e estabelecendo uma situação severa ainda em 2021. A menor disponibilidade de energia dessa fonte impacta diretamente nos custos dos consumidores, uma vez que será necessária a compra de mais energia de outra forma de geração, sendo que a tarifa de bandeira verde foi mantida até novembro de 2020 com empréstimos do setor elétrico junto a agentes financeiros; entretanto, a partir dessa data a bandeira tarifária adotada foi a vermelha, a de maior custo (ANEEL, 2020). Nesse cenário, em que as termelétricas são acionadas para o suprir a demanda energética, a geração distribuída por fontes renováveis poderia ser uma das soluções, porém como contrassenso, a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL pretende aplicar taxas sobre a energia gerada pelos consumidores, reduzindo para 38% de compensação em créditos de energia (PORTAL SOLAR, 2020). Neste cenário, as edificações são um elemento chave tanto para a implantação do sistema de geração distribuída, quanto para a redução da demanda de eletricidade.

As edificações possuem longos ciclos de vida, produzindo impactos durante esse período, como o consumo de energia, que é responsável por 30% das emissões de CO₂ (DELAVAR E SAHEBI, 2020). Cerca de 40% da energia nos Estados Unidos é consumida pelas edificações, sendo que dessa parcela, as indústrias e residências são as maiores consumidoras, incluindo combustíveis, energia elétrica e outras fontes. Além disso, a energia incorporada na construção, a energia utilizada para transportes e a energia utilizada para construção de novas edificações e infraestruturas também estão relacionadas ao consumo das edificações (KIBERT, 2020). Em nível mundial, as edificações consomem 32% do total produzido e quando consideradas perdas na geração, distribuição e transmissão, esse consumo atinge 40% do total de energia gerada (KEELER E VAIDYA, 2018), ou seja, o consumo não se restringe apenas à fase de operação do edifício, mas também a todo o ciclo de vida, incluindo a construção, a operação e a infraestrutura que o abastece. Já no Brasil, o percentual de energia consumida associada a edificações é de quase 50% (CTE, 2021).

O consumo e a demanda variam conforme as características e o contexto de cada país, por exemplo, um edifício que é abastecido com 80% de energia elétrica e o restante com gás natural nos Estados Unidos apresenta um consumo de 656 kWh/m²/ano, enquanto edifícios na Alemanha possuem metas de consumo de 100 kWh/m²/ano. A tipologia da edificação influencia na demanda, como hotéis e edifícios residenciais que possuem consumo maior à noite, edifícios de escritórios e escolas com consumo no período diurno e hospitais que consomem durante o dia inteiro. Para atingir as metas de redução estabelecidas, as cidades e edificações necessitam ser reconfiguradas para que os edifícios de alto desempenho predominem no ambiente construído. Entretanto, a quase totalidade do estoque imobiliário é composta por edifícios já finalizados, necessitando, portanto, de atualizações relacionadas à eficiência energética, a fim de reduzir o consumo (KIBERT, 2020).

Localizada no norte do Rio Grande do Sul, a Universidade de Passo Fundo (UPF) conta com campus em outros 5 municípios, em 2020, apresentava o número de 14.707 alunos matriculados nos cursos de graduação, pós-graduação, extensão, UPF Idiomas e Ensino médio Integrado (UPF, 2020a). Em termos de novas edificações, a UPF teve um acréscimo de 35% entre 2004 e 2016, com o consumo de energia aumentando em 50% no mesmo período, sendo que o campus I era responsável por 85% do consumo de toda a universidade (FRANDOLOSO, 2018). Porém, mesmo com a adoção de medidas relativas à eficiência energética, o ingresso no mercado livre de energia e a geração de energia renovável própria, mais ações devem ser realizadas a fim de garantir uma redução de custos efetiva e a consolidação de um Campus energeticamente sustentável, o qual apresenta edificações com mais de 30 anos de utilização. O edifício L1, objeto deste estudo, abriga os laboratórios do Centro de Pesquisa em Alimentos e é um dos edifícios do campus com grande consumo energético, tanto de eletricidade proveniente de fontes hidrelétricas, quanto pelo elevado consumo de gás GLP, com pouca utilização de fontes de energia alternativa, tal como a energia solar fotovoltaica.

Nesse contexto, as edificações autossuficientes em energia ou *Zero energy buildings* (ZEBs) são uma abordagem técnica para eficiência energética de edificações existentes e novas, com equilíbrio entre consumo e geração de energia. Conforme Aelenei e Gonçalves (2014), para atingir a condição de autossuficiência, é necessário reduzir a demanda de energia do edifício através da eficiência energética e gerar eletricidade para criar créditos que estabeleçam o balanço energético. Desse modo, a pesquisa proposta procura responder à questão: **É viável tecnicamente e economicamente transformar o edifício L1 da UPF em um *Zero Energy Building*?**

1.2. Justificativa

Como justificativa da pesquisa, a eficiência energética pode ser o centro de estratégias de desenvolvimento econômico, segurança e sustentabilidade, de maneira que a redução da pegada ecológica dos sistemas energéticos pode promover a segurança no suprimento de energia (IEA, 2019b). A combinação entre eficiência energética e energias renováveis pode contribuir para o cumprimento das metas do ODS7 de maneira integrada.

As estratégias de eficiência energética e de geração distribuída por parte dos consumidores finais colaboram no atendimento das demandas de energia e reduzem as necessidades quanto à expansão dos sistemas de geração centralizada. A geração distribuída de pequeno porte no Brasil vem sendo incentivada desde 2012, a partir da Resolução nº482/2012 (ANEEL, 2012) que regulamentou as condições de acesso e o sistema de compensação. Conforme Solaun e Cerdá (2019), a energia solar fotovoltaica foi a tecnologia com a maior capacidade instalada ampliada em 98 GW em 2017 na esfera mundial, totalizando 402 GW, sendo a China, Estados Unidos, Japão, Alemanha e Itália os países com maiores indicadores. Para atingir a meta global de redução de 2°C das mudanças climáticas, a participação da energia solar fotovoltaica deverá passar de 1% em 2015 para 22% do total de produção de eletricidade no ano de 2050. Nesse contexto, são necessárias pesquisas e a elaboração de diretrizes para a expansão das energias renováveis.

De acordo com a EPE (2018), no Brasil há disponibilidade de recursos energéticos para atender a demanda projetada para 2050, atrelada ao correto aproveitamento desse potencial, garantindo confiabilidade, menores custos e a adoção de soluções isoladas ou híbridas. A energia solar apresenta potencial *on-shore* (terrestre) e *off-shore* (marítima) no Brasil, o qual possui condições geográficas para aproveitamento também no inverno, com índices superiores aos dos países que já lideram o uso da energia fotovoltaica; a geração distribuída residencial apresenta um potencial de geração de 287 TWh/ano. Nesse sentido, as edificações podem ser um elemento chave para a expansão do setor de geração distribuída, visto que os edifícios estão entre os principais consumidores de eletricidade e as universidades podem ser utilizadas como laboratório para estudos referentes às ações de eficiência energética e energias renováveis.

Conforme Zen et al. (2019), o conceito de laboratórios vivos nas universidades utiliza o aprendizado baseado na solução de problemas para engajar os estudantes no uso da pesquisa em sustentabilidade para responder a questões reais, assim como contribui com a governança, com a sustentabilidade financeira e com a implantação de um ecossistema de inovação, a partir de uma abordagem socioambiental nas universidades. Tornar as edificações eficientes no seu

consumo de energia é possível pela adoção de estratégias de design passivo, aproveitando a orientação solar e as características da construção para maximizar o aproveitamento da iluminação e ventilação e reduzir os ganhos térmicos, além de unir essas estratégias a novas tecnologias visando a redução do consumo (KIBERT, 2020). Portanto, as universidades apresentam potencial para avaliação dessas estratégias e sua posterior replicação a outras tipologias de edificações.

A UPF vem implantando estratégias nesse sentido, em maio de 2018 foi implantado o Parque de Geração Solar Fotovoltaica, com estimativa de geração de 2.400 KWh/mês e a utilização de energia elétrica de fontes exclusivamente renováveis desde outubro de 2018, com a redução de emissões de aproximadamente 96,80 toneladas de CO₂. Em 2019 foi realizado o retrofit do sistema de iluminação pública de áreas de práticas esportivas externas e do Centro de Extensão e Pesquisa Agropecuária (CEPAGRO), reduzindo cerca 56% do consumo desses sistemas (UPF, 2021a). De acordo com Rebelatto (2019), as ações de eficiência energética da UPF têm contribuído para tornar o Campus sustentável, com iniciativas alinhadas às metas do ODS7, que propiciam redução de custos e de emissões, além da inserção da conscientização ambiental no meio acadêmico, em escala local, contribuindo para questões de nível global propostas pela Agenda 2030.

Nesse cenário, as edificações autossuficientes utilizam a combinação dessas estratégias. Segundo Liu et al. (2019), a intenção de um edifício zero energia é minimizar o consumo através da eficiência energética, combinado ao atendimento da demanda de energia por fontes de energia renováveis, além da melhoria do conforto dos ambientes internos. Conforme Scognamiglio et al. (2014), edifícios zero energia com balanço positivo, ou seja, que geram energia além do consumo, passam a compensar os edifícios que não possuem equilíbrio energético e, ao considerar o conjunto das edificações, surge o conceito de *Net Zero Energy Clusters (NetZecs)*, um sistema com equilíbrio energético que envolve as edificações de maneira integrada.

Estudos precedentes vêm avaliando a implantação de estratégias de retrofit e energia renovável em edifícios educacionais (ALLIPRANDINI, 2018; BERARDI et al., 2017), em residências (ALBADRY, TARABIEH E SEWILAM, 2017); em edifícios comerciais (ALKHATEEB E ABU-HIJLEH, 2019) no retrofit de sistemas luminotécnicos (BOOYSEN, SAMUELS E GROBBELAAR, 2020; BORTOLIN, 2015; GRIGOLETTI, 2014; MATANA JÚNIOR, MAGRO E FRITSCH, 2019); na definição de conceitos parâmetros e metodologias para *net-zero buildings* (D'AGOSTINO, CUNIBERTI E MASCHIO, 2017; DELAVAR E SAHEBI, 2020; DOWDS E YOU, 2019; LIU et al. 2019; SCOGNAMIGLIO et al. 2014; SONG

et al. 2014); para avaliar o impacto da luz natural (CARLETTI et al., 2017); para avaliação de ferramentas sobre redução de consumo e geração de energia renovável (AELENEI E GONÇALVES, 2014; AKSAMIJA, 2015; DIDONÉ, WAGNER E PEREIRA, 2014; HALL e GEISLER, 2017).

Entretanto, o conceito de edifício autossuficiente ainda é um tema recente no Brasil, sendo introduzido no país a partir de 2018 pela certificação ambiental Zero Energy do Green Building Council Brasil (GBC, 2020), focada em estabelecer edifícios que gerem energia igual ou superior ao seu consumo durante um ano, conceito que pode ser aplicado ao Campus Universitário. O processo de tornar os edifícios autossuficientes pode criar uma rede integrada e sustentável de edificações e, posteriormente, ser replicado à outras tipologias, sejam condomínios, indústrias, edifícios públicos e outros parques construídos de tipologias similares. Além disso, a melhoria de condições de conforto nas edificações pelas estratégias ativas e passivas de eficiência energética trará benefícios aos usuários em aspectos físicos e psicológicos.

A proposta de dissertação segue a temática abordada na linha de pesquisa “Gestão da Infraestrutura” do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, dando continuidade à dissertação de mestrado “Eficiência energética nas universidades: uma contribuição para o objetivo do desenvolvimento sustentável 7” (REBELATTO, 2020); contribuindo com o projeto de pesquisa “Análise e Diagnóstico da Ecoeficiência na Universidade de Passo Fundo” (FRANDOLOSO, 2020) e, também, para a o projeto de pesquisa “*Drinking Water From Rain: a Standalone Green Energy Powered Rainwater Purification System*” (BRIÃO, 2019), ambos os projetos institucionalizados na UPF.

A aferição dos níveis de demanda e consumo de energia elétrica e de geração de energia por um sistema de fonte renovável permitirá estimar as condições para alcançar o equilíbrio energético de uma edificação universitária a fim de que se torne autossuficiente pela união de estratégias de eficiência energética e geração de energia limpa. O objeto de estudo apresenta potencial para ser convertido em um edifício zero energia pelo fato de ser o primeiro da UPF a possuir geração de energia renovável em sua própria estrutura e, também, pela possibilidade de implantar estratégias de redução de consumo de sistemas de iluminação e climatização.

Sendo assim, esta pesquisa tem como justificativa contribuir com a implantação de melhorias de eficiência energética e de geração de energia limpa em edificações, além do atendimento das metas do ODS7, utilizando a UPF como estudo de caso. As estratégias adotadas poderão fornecer subsídios para os tomadores de decisão, contribuindo para que outras edificações possam adotar medidas visando à autossuficiência de energia, auxiliando na seleção

das estratégias, analisando a viabilidade técnica e econômica em relação ao ciclo de vida dos sistemas.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

A pesquisa tem como objetivo geral avaliar a viabilidade técnica e econômica da aplicação de estratégias de eficiência energética e de energia renovável para tornar uma edificação universitária um *Zero Energy Building (ZEB)*.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da pesquisa serão:

- a) Identificar as características do edifício L1 através de Avaliação Pós-Ocupação (APO) e estimar o potencial de redução de consumo através do retrofit dos sistemas de iluminação, climatização e outras estratégias de eficiência energética aplicáveis;
- b) Aferir o potencial de geração de energia fotovoltaico para dimensionar cenários de autossuficiência em energia;
- c) Analisar a viabilidade técnica e econômica em relação aos cenários estabelecidos;
- d) Verificar o atendimento à certificação “GBC BRASIL *ZERO ENERGY*”.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura está estruturada do seguinte modo: primeiramente, serão apresentadas questões referentes à Agenda 2030, mudanças climáticas e consumo de energia, abordando o contexto global do problema de pesquisa. Depois, serão apresentados dados referentes às matrizes de energia elétrica do mundo, Brasil e Rio Grande do Sul, estabelecendo diferentes escalas sobre produção de energia elétrica. Em seguida, serão tratadas as fontes renováveis e a geração distribuída no Brasil; na seção seguinte, os conceitos e políticas de eficiência energética, além da apresentação das certificações ambientais. Na sequência, serão demonstradas as ações de eficiência energética em universidades, relacionadas à área de estudo. Posteriormente, será definido o conceito de edificações autossuficientes em energia, tema central da dissertação e estudos de caso sobre o tema. Por fim, serão apresentadas formas de avaliação de retorno de investimentos, relacionadas à avaliação econômica da pesquisa.

2.1. Agenda 2030, mudanças climáticas, produção e consumo de energia elétrica

O acesso à energia constitui uma condicionante para a redução da pobreza, para o bem-estar e para o desenvolvimento econômico, sendo a universalização do acesso um desafio a nível global, uma vez que se constitui uma infraestrutura de suporte às atividades básicas, tais como moradia, produção e trabalho. Conforme Yankson (2020), a questão do acesso à energia, seja combustível, eletricidade ou outras fontes, também possui um aspecto de equidade social, em que esses recursos estejam disponíveis independente dos níveis de renda das populações.

Contudo, as infraestruturas de geração de energia produzem impactos ambientais, com uma matriz historicamente composta por combustíveis fósseis. A geração de energia também produz a emissão de gases de efeito estufa, os quais contribuem com o fenômeno das mudanças climáticas (OUR WORLD IN DATA, 2018). Eventos climáticos relacionados a tempestades, furacões e inundações têm causado a interrupção dos sistemas de energia. Nos Estados Unidos, esses eventos foram responsáveis por 78% das interrupções de 1992 a 2010, evidenciando a relação entre clima e infraestrutura, seja pelos impactos de curto prazo de eventos extremos ou pelos impactos de longo prazo que reduzem a vida útil das infraestruturas (FANT et al., 2020). Esses impactos devem ser considerados para o planejamento do setor energético, além do suprimento da demanda, há a necessidade de se projetar uma infraestrutura resiliente.

Para Solaun e Cerda (2019), o setor de energia pode ser afetado devido às variáveis climáticas, sendo a água um elemento chave, pois não apenas as hidrelétricas, mas também

outras fontes que utilizam água em seus processos podem sofrer impactos. Alterações nos ventos, tempestades e mudanças no nível dos mares podem afetar as infraestruturas de energia eólica; as hidrelétricas podem ser impactadas pelas variações na precipitação, pelos aumentos da temperatura e da evaporação e, pelas oscilações de eventos como o *El niño*; a infraestrutura de energia fotovoltaica pode ser afetada por tempestades, incêndios e o próprio aumento da temperatura, a qual pode reduzir a eficiência dos equipamentos. Devido a isso, se faz necessário avaliar a vulnerabilidade dessas infraestruturas para que a tomada de decisão não comprometa a grande parcela desses investimentos.

Conforme Fant et al. (2020), três abordagens são possíveis a partir do conhecimento dos impactos do clima na infraestrutura: nenhuma adaptação, onde concessionárias e agentes públicos entendem o clima de maneira estacionária, projetando as ações sobre o clima atual; adaptação reativa, quando os agentes públicos atuam reagindo aos danos e os custos concretizados, atualizando os sistemas e critérios de projeto; e a adaptação proativa, quando as concessionárias e agentes públicos consideram os riscos gerados pelas mudanças climáticas, assumindo custos iniciais de adaptações antes de que eventos extremos e danos ocorram. Portanto, as adaptações proativas permitirão projetar infraestruturas de energia primária e secundária resilientes e reduzir as interrupções de fornecimento ou danos permanentes a essas infraestruturas.

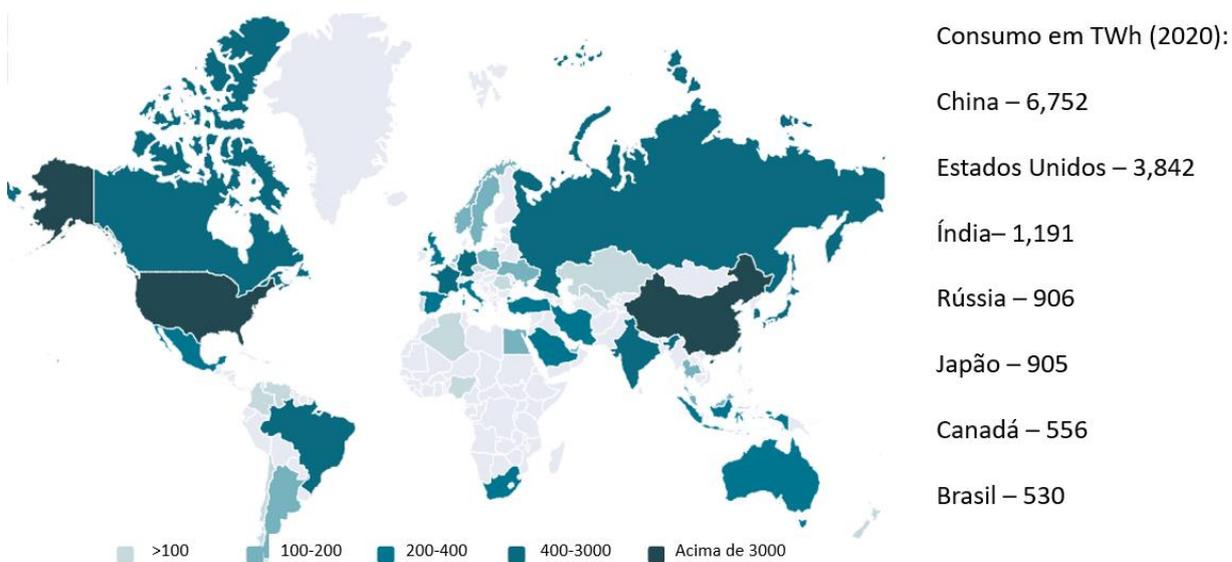
A energia primária é também conhecida como fonte de energia, a qual é armazenada em recursos naturais, que é transformada em energia secundária através de diferentes processos, convertida em eletricidade ou calor, por exemplo. Quando a energia secundária é entregue aos pontos de consumo, é denominada energia final (PNUD, 2018). Entretanto, é necessário conhecer a relação entre consumo e produção de energia para estabelecer um cenário de energia acessível e confiável.

A América do Norte, Europa e Eurásia eram responsáveis por 80% do consumo global de energia e mesmo com o aumento do consumo nessas regiões, o consumo nas demais localidades aumentou consideravelmente, sendo que a partir de 2015, a América do Norte, Europa e Eurásia correspondiam a 43% do consumo, enquanto na Ásia e no Pacífico o consumo aumentou 12 vezes, representando 42% do consumo global (OUR WORLD IN DATA, 2018).

Essas alterações no consumo estão relacionadas também à força de trabalho. Em países desenvolvidos, já ocorreu um período de industrialização, de consumo dos combustíveis fósseis da inclusão tardia de energias renováveis, enquanto outros países de média e baixa renda, setores de manufatura e agricultura ainda estão utilizando força de trabalho não mecanizada e ainda passam por um processo de industrialização (OUR WORLD IN DATA, 2018). Os países

do BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul) contribuíram com 78% do crescimento do consumo de eletricidade no mundo entre 2010 e 2019, sendo a China responsável por 28% do consumo global em 2019, com crescimento de 4,5% (ENERDATA, 2020). Em 2021 a demanda global de eletricidade cresceu 6% devido a retomada econômica, invernos mais frios e verões mais quentes e entre 2022 e 2024 há uma expectativa de crescimento de 2,7% na demanda, porém ainda há incertezas relacionadas à duração da pandemia de COVID-19 (IEA, 2022). A Figura 1 demonstra o consumo de energia elétrica por país.

Figura 1 – Consumo de energia elétrica por país em 2020

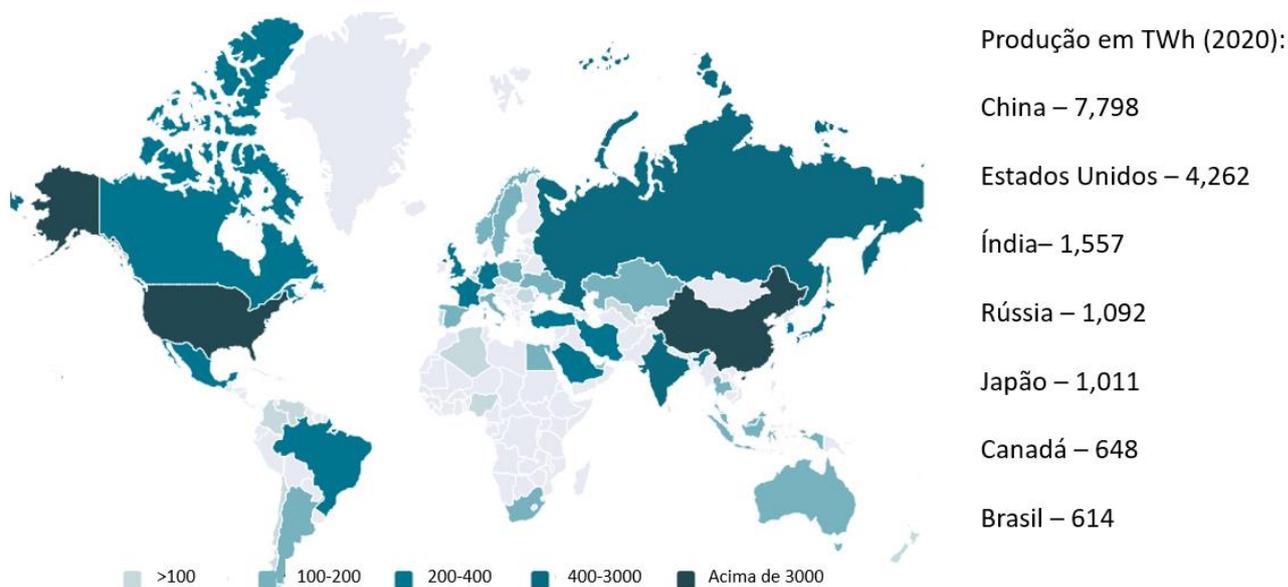


Fonte: ENERDATA (2020), adaptado pelo autor.

Em 2018, cerca de 66,3% da produção de eletricidade bruta global foi a partir de fontes que utilizam combustíveis, incluindo carvão, petróleo, gás natural e biocombustíveis, em contrapartida, a geração de eletricidade a partir de energias renováveis apresentou crescimento, sendo a fonte eólica com 12,4% de acréscimo e a solar com 24,3%. No mesmo ano o consumo final de eletricidade registrou 22.315 TWh, cerca de 4,0% superior ao ano anterior, sendo o setor industrial o maior consumidor de energia elétrica, seguido pelo setor residencial, comercial e público, com a agricultura, pesca e transporte como menores consumidores. Cabe salientar que nos transportes, a inclusão de veículos elétricos, particularmente na Europa, tem aumentado o consumo nesse setor (IEA, 2020).

No Brasil, a produção hidrelétrica predomina na matriz elétrica, entretanto, reduções já foram projetadas, assim como em outras regiões da América do Sul em que estão previstos menores índices de precipitação (SOLAUN E CERDÁ, 2019). A Figura 2 apresenta a produção de energia elétrica por país.

Figura 2 – Produção de energia elétrica por país em 2020



Fonte: ENERDATA (2020), adaptado pelo autor.

Referente ao setor de energia elétrica do Brasil, a Rede Brasil do Pacto Global vem fomentando a inserção dos ODS no setor através de uma avaliação conjunta com a Universidade de São Paulo – USP, com 96% do setor de distribuição de energia avaliado na pesquisa, que demonstrou que 85% das empresas do setor estão compromissadas com o Pacto Global. Apesar disso, apenas 10% das empresas utilizam os ODS como referência na estrutura de negócio, sendo que também foram definidos os ODS mais relevantes para o setor, os ODS 7, 8, 9, 11 e 13, sejam por impactos positivos ou negativos (REDE BRASIL DO PACTO GLOBAL, 2020).

Os países são classificados em três categorias principais, visando refletir as suas condições econômicas, sendo: economias desenvolvidas, economias em desenvolvimento, onde se insere o Brasil e, por fim, economias em transição (PNUD, 2018). A definição dos ODS prioritários para o setor energético pode contribuir para o desenvolvimento de metas e diretrizes adequadas ao contexto brasileiro. As Metas Nacionais dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, desenvolvidas pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, tratam da adequação das metas dos ODS para o contexto brasileiro. A figura 3 apresenta o resumo das metas e indicadores nacionais do ODS7:

Figura 3 – Metas e indicadores do ODS7 no Brasil

META	Descrição	Adequação ao Brasil	Indicadores	Observação
7.1	Até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia.	Meta mantida sem alteração	7.1.1 - Percentagem da população com acesso à eletricidade 7.1.2 - Percentagem da população com acesso primário a combustíveis e tecnologias limpas	A redação original é adequada ao Brasil
7.2	Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global.	Até 2030, manter elevada a participação de energias renováveis na matriz energética nacional	7.2.1 - Participação das energias renováveis na Oferta Interna de Energia (OIE)	Renováveis: Plano Nacional de Energia para 2050 e a revisão das estimativas para 2030
7.3	Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética.	Até 2030, aumentar a taxa de melhoria da eficiência energética da economia brasileira	7.3.1 - Intensidade energética medida em termos de energia primária e de PIB	As projeções do Plano Nacional de Energia 2030 indicam ser inviável dobrar a taxa de eficiência energética no período proposto pela ONU
7.a	Até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso à pesquisa e às tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis e limpas.	Meta mantida sem alteração	7.a.1 - Fluxos financeiros internacionais para países em desenvolvimento para apoio à pesquisa e desenvolvimento de energias limpas e à produção de energia renovável, incluindo sistemas híbridos.	A redação original é adequada ao Brasil
7.b	Até 2030, expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos nos países	Até 2030, expandir a infraestrutura e aprimorar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos	7.b.1 - Investimentos em eficiência energética, em percentagem do PIB, e montante de investimento direto estrangeiro	A adequação no texto quanto ao detalhamento dos países.

Fonte: IPEA (2018a), adaptado pelo autor

Na escala local, a adoção de energias renováveis possui grandes possibilidades para a transição para sistemas ambientalmente sustentáveis, sendo que os governos também podem induzir essas possibilidades através de recursos e da melhoria do acesso à energia. Na escala global, as metas de redução de emissões podem ser alcançadas através de cooperações na promoção de energia limpa, seja entre governos, sociedade e outros *stakeholders*, com a implantação de estratégias e metas, sendo que a mobilização para atingir essas metas está relacionada à clareza dos benefícios econômicos das mesmas (YANKSON, 2020).

Em 2020, as medidas de isolamento social adotadas em diversos países para contenção da pandemia de COVID-19 impactaram de maneira significativa as demandas por energia elétrica. Apesar do aumento do consumo residencial pela adoção do *home office* e a redução da circulação de pessoas, houve compensação pela redução de horários de operação dos setores industrial e comercial, sendo influenciado pela duração e rigor das medidas adotadas. A

demanda global nos três primeiros meses reduziu em 2,5%, sendo que nos países com economia baseada no setor de serviços, os impactos foram maiores devido ao fechamento de escritórios, escolas, hotéis, atividades turísticas e aliados à redução de consumo global que é projetada para o ano em 5%, a maior redução desde a grande depressão (IEA, 2020). Todavia, o momento também abre precedentes para mudanças profundas no consumo e geração de energia.

No cenário estabelecido pela pandemia, as energias renováveis contribuíram com uma maior parcela de geração de eletricidade, um aumento em 3% impulsionado pela produção solar fotovoltaica implantada ao longo de 2019, sendo que a participação de fontes renováveis no fornecimento atingiu 28% no primeiro trimestre de 2020, 2% superior ao mesmo período de 2019. A recuperação econômica pós-pandemia também deve influenciar na matriz energética, uma vez que a recuperação rápida aumentaria a demanda, impactando em todas as fontes, sendo que as energias renováveis poderiam ter um acréscimo importante, principalmente, de energia solar fotovoltaica, que requer menor tempo de execução. Caso a recuperação seja lenta, haveria um espaço ainda maior para o crescimento das fontes renováveis ante outras fontes (IEA, 2020).

A desaceleração da economia pode contribuir na redução do custo da energia, permitindo maior acesso, entretanto, também é capaz de reduzir os incentivos para a inserção de fontes renováveis (SACHS et al., 2020). Desse modo, para atingir as metas do ODS7, serão necessários investimentos, intervenções políticas, parcerias público-privadas, cooperação entre governos e instituições, fomento à pesquisa e a modificação do ambiente construído, com ações adaptadas às escalas locais, nacionais e globais e aos campos político, social e econômico (YANKSON, 2020). Pacotes de subsídios financeiros pós-pandemia podem modificar a velocidade em que ocorrerá a transição das matrizes energéticas. Além disso, alguns efeitos da pandemia impactarão a longo prazo, como a manutenção de trabalho remoto, o qual poderá reduzir a demanda por espaços comerciais e, conseqüentemente, o consumo desses espaços (DNV, 2021).

Os impactos da pandemia na produção e consumo de energia elétrica também irão alterar o modo como as metas do ODS7 poderão ser alcançadas até 2030 nos diferentes contextos a nível mundial, que serão influenciados pelo fim das restrições, pela velocidade da retomada econômica, pela manutenção de modalidades híbridas de trabalho, bem como o modo no qual serão alocados os investimentos para geração de energia.

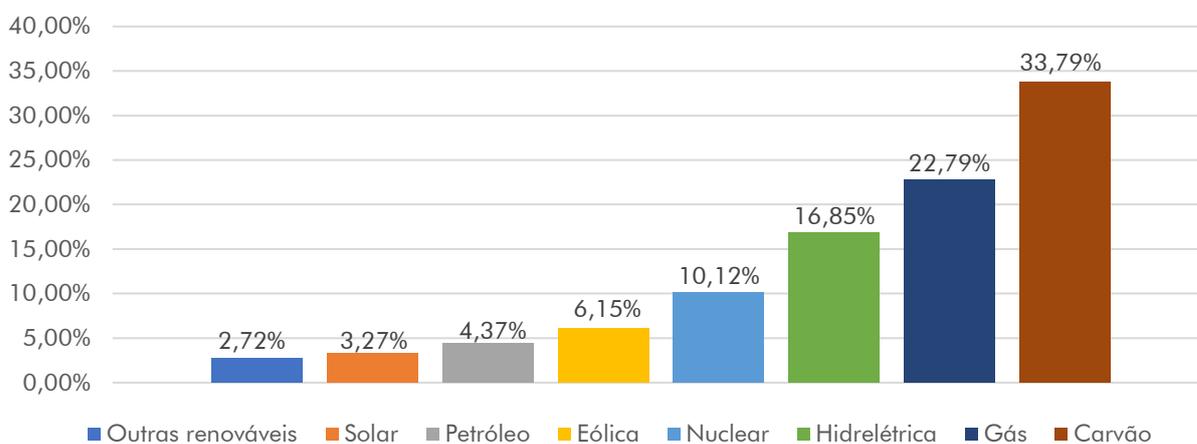
2.2. Matrizes energéticas – Global, Brasil e Rio Grande do Sul

Conforme o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2018), a matriz energética ou *mix* de energia é a composição entre diferentes fontes de produção de energia, utilizadas por um país, estado ou região para suprir as demandas energéticas. Em âmbito global, os combustíveis fósseis representam mais de 80% do total. Neste trabalho, será abordada apenas a matriz elétrica, pois a matriz energética como um todo considera a energia utilizada para queima de combustíveis em transportes, geração de energia, cocção, aquecimento e outras infraestruturas.

A matriz elétrica mundial ainda é predominantemente constituída por fontes não renováveis, sendo que o carvão utilizado em termelétricas é a fonte com maior utilização. Fontes renováveis somam menos de 10% da matriz mundial, apesar do aumento da sua participação na matriz (OUR WORLD IN DATA, 2021). Em um cenário estabelecido com as diretrizes atuais, a demanda global de eletricidade crescerá 2,1% ao ano até 2040, principalmente, em economias em desenvolvimento, ampliando a participação da energia elétrica de 19% para 24% do total de energia consumida no mesmo período; os cenários preveem a expansão da participação de fontes de baixo carbono de 36% para 52% até 2040.

Já em um cenário na linha de desenvolvimento sustentável, a eletricidade atingiria 31% do consumo final de energia, ultrapassando o petróleo em 2040, devido ao uso de veículos elétricos, além da compensação da geração de energia de combustíveis fósseis através da descarbonização do fornecimento de eletricidade (IEA, 2019c). A transição relativa aos veículos elétricos pode impactar de maneira significativa não só a demanda por eletricidade, mas também na mitigação de mudanças climáticas através da redução das emissões. A Figura 4 apresenta a composição da matriz de energia elétrica mundial em 2020.

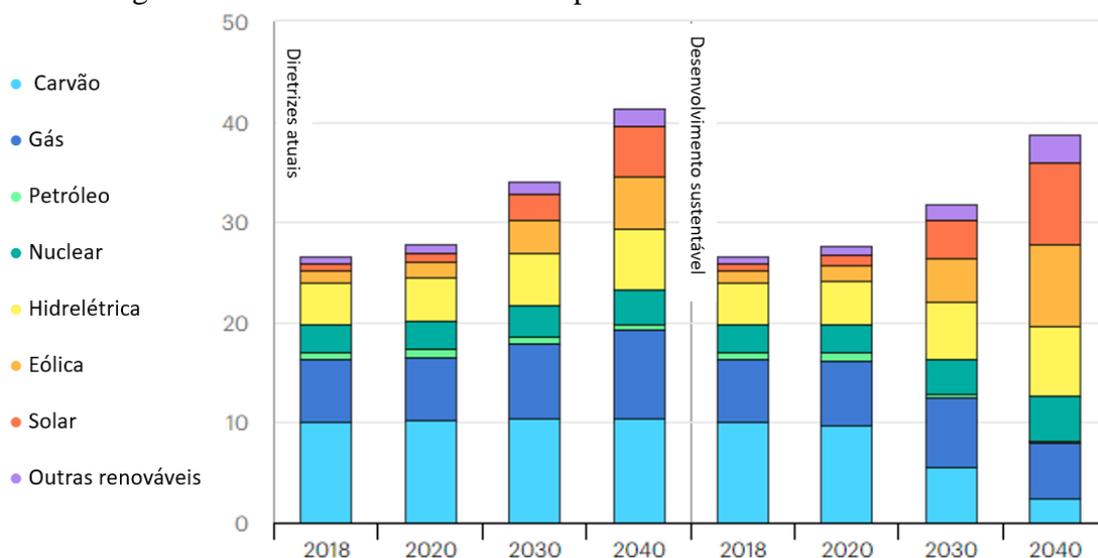
Figura 4 – Matriz elétrica mundial por fonte para geração de eletricidade em 2020



Fonte: Our world in data (2021), adaptado pelo autor.

Conforme o PNUD (2018), ainda não há um consenso sobre a terminologia “energias limpas”, variando conforme a fonte, mas usualmente está associada a fontes que não poluam ou prejudiquem o meio ambiente. Há uma sobreposição com o termo “energias renováveis”, que trata da reutilização ou renovação dos recursos para produção de energia em uma taxa superior ou igual à consumida, enquanto energia limpa refere-se a emissões de gases ou outros poluentes, sendo que há fontes, como a energia solar fotovoltaica, que podem ser classificadas como limpas e renováveis. No cenário de desenvolvimento sustentável, a adoção em larga escala dos veículos elétricos será responsável pelo aumento da demanda de eletricidade, enquanto no cenário atual, edifícios e indústrias correspondem a 90% da demanda (IEA, 2019c). A Figura 5 apresenta a demanda de energia elétrica por setor em dois cenários para o período de 2018 a 2040.

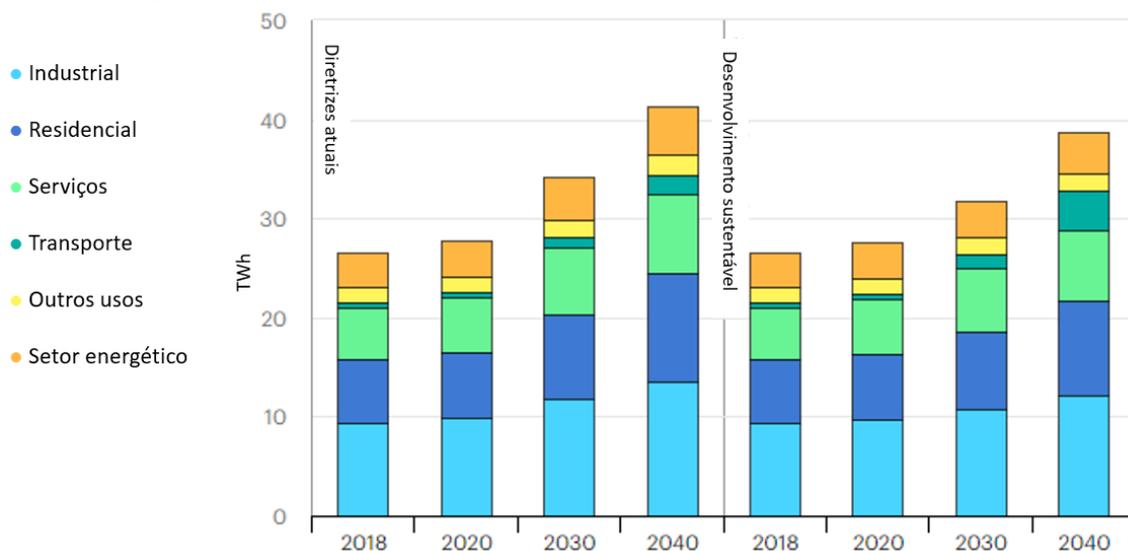
Figura 5 – Demanda de eletricidade por setor e cenário de 2018 a 2040



Fonte: IEA (2019c), adaptado pelo autor.

A adoção de diretrizes de desenvolvimento sustentável pode fornecer dois terços da eletricidade até 2040, sendo 40% da geração pelas energias solar fotovoltaica e eólica, somadas a 25% de outras fontes renováveis, com a possibilidade de eliminar a energia elétrica gerada a carvão, maior emissora de CO₂. No cenário com políticas atuais, a energia solar pode atingir a maior capacidade instalada em 2035, além do crescimento da energia eólica *offshore* na Europa, China e Estados Unidos (IEA, 2019c). A América Latina está entre as regiões com menor intensidade de carbono devido à disponibilidade de recursos eólicos, hídricos, solares e, também, de biomassa (DNV, 2021). A Figura 6 apresenta a geração de energia elétrica por fonte em dois cenários para o período de 2018 a 2040.

Figura 6 – Geração de eletricidade por fonte e cenário de 2018 a 2040.



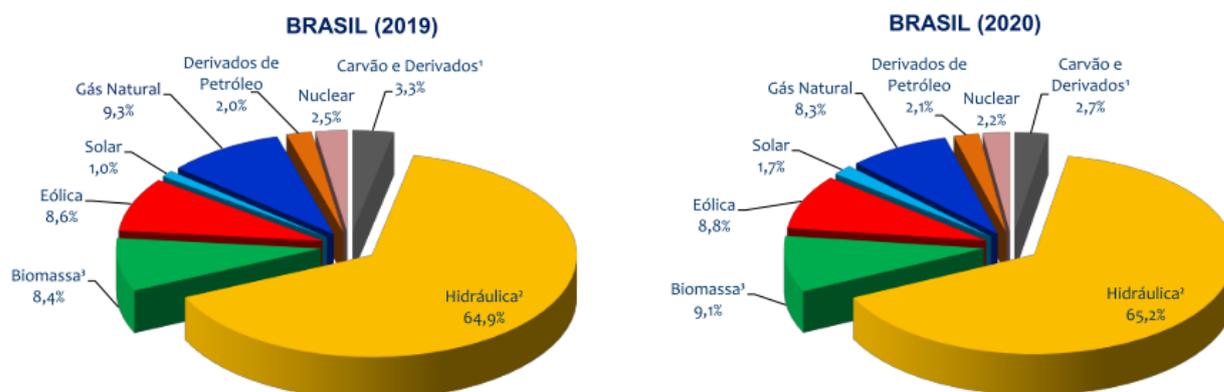
Fonte: IEA (2019c), adaptado pelo autor.

Além disso, os impactos possíveis das mudanças climáticas no fornecimento de energia têm sido relacionados a políticas e investimentos direcionados para energias renováveis em um cenário de transição energética, como a adoção de veículos elétricos e a mudança nos componentes de baterias; entretanto, a inserção de energias alternativas nos sistemas energéticos atuais encontra mais obstáculos devido ao seu caráter disruptivo. Energias como a solar fotovoltaica e eólica são intermitentes, desse modo, para que a adoção seja feita em maior escala, a demanda deve ser flexibilizada, ou seja, a quantidade e em qual período a energia é consumida, podendo ser alterada através da modificação dos hábitos dos consumidores (GUIMARÃES, 2020). Apesar dessas projeções, a matriz energética no Brasil apresenta composições diferentes da matriz mundial, permitindo estabelecer cenários mais promissores quanto às fontes renováveis.

O Balanço Energético Nacional 2020 apresenta a composição da matriz energética e a matriz de energia elétrica do Brasil. No ano de 2020, a oferta interna de energia elétrica foi de 645,9 TWh, um decréscimo de 0,8% em relação ao ano anterior, o consumo final também reduziu em 1,0%, totalizando 540,20 TWh consumidos e a importação de energia foi reduzida em 1,7%, registrando 24,7 TWh importados. Segundo a EPE (2021), a matriz elétrica do Brasil foi composta por 84,8% de energias renováveis em 2020, através do crescimento das fontes eólica, biomassa e fotovoltaica, pelo recuo da geração por carvão a vapor. A termo de comparação, a matriz mundial de energia elétrica em 2018 era composta por 23% de fontes renováveis, sendo que no Brasil, a energia solar fotovoltaica apresentou o crescimento mais expressivo, de 3.461 GWh gerados em 2018 para 10.750 GWh em 2020, mais do que

triplicando a produção de energia em apenas dois anos. A Figura 7 apresenta a comparação da composição da matriz elétrica em 2019 e 2020.

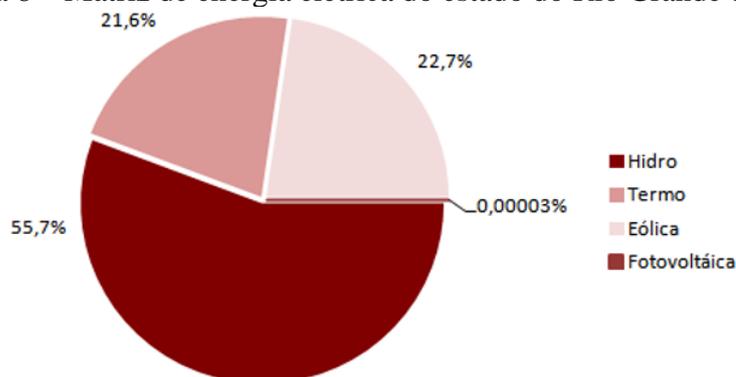
Figura 7 – Matriz de energia elétrica do Brasil em 2019 e 2020



Fonte: EPE (2021), adaptado pelo autor.

Apesar do cenário favorável às energias renováveis no Brasil, a geração de energia elétrica no estado do Rio Grande do Sul apresenta outro cenário. A distribuição de energia é realizada por concessionárias, permissionárias e autorizadas, sendo a RGE/CPFL Energia e CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica, as quais suprem empresas menores e correspondem juntas a 93% da energia comercializada no estado (RIO GRANDE DO SUL, 2020). A Figura 8 apresenta a composição da matriz energética do estado:

Figura 8 – Matriz de energia elétrica do estado do Rio Grande do Sul



Fonte: RIO GRANDE DO SUL (2020).

Estabelecidos esses cenários, fica evidente a necessidade de investimentos substanciais em energias renováveis e limpas, uma vez que o Brasil apresenta condições favoráveis à exploração dessas fontes, como a energia fotovoltaica, que triplicou a capacidade em apenas dois anos e apresenta tendência de crescimento. Um caminho possível para a consolidação desses cenários, é a integração desses sistemas às edificações através da geração distribuída.

2.3. Energias renováveis e geração distribuída

Os sistemas tradicionais de fornecimento de energia estão sendo modificados através da descentralização, descarbonização e digitalização, induzidos pelos custos socioeconômicos e ambientais, pela democratização do acesso à energia e pela revolução digital. Um novo cenário é estabelecido pelas soluções descentralizadas, em que os consumidores podem produzir sua própria energia elétrica, rompendo com o padrão de geração em grandes usinas que transmitem energia de alta tensão a longas distâncias do consumo final, migrando para um modelo com inversão de papéis e escalas, com a produção de energia em fontes menores e próximas ao consumo (GUIMARÃES, 2020). Nesse contexto, as energias renováveis constituem a principal alternativa para descentralização da geração de energia elétrica.

A transição entre uma matriz energética de combustíveis fósseis para uma matriz renovável necessita de investimentos significativos. Cerca de 47 bilhões de dólares foram investidos em tecnologias renováveis em 2004, aumentando substancialmente até 2015, quando 286 bilhões foram investidos. Apesar disso, a maioria dos países investe menos de 1% do Produto Interno Bruto para energias renováveis, com exceção da África do Sul e Chile, que destinam 1,4% dos seus PIBs, sendo que o Brasil investiu 0,4% do PIB em 2015 (OUR WORLD IN DATA, 2018). Dada a necessidade de ampliar o acesso à energia, o custo efetivo de cada fonte deve ser analisado para a implantação, em especial para economias em desenvolvimento.

Uma das principais fontes de energia renovável em expansão é a energia solar fotovoltaica, a qual converte a radiação solar incidente sobre um painel fotovoltaico em energia elétrica de corrente contínua, que pode ser transmitida para a rede ou consumida pela própria edificação após a conversão em corrente alternada (SOWMY, 2019). Apesar de ser considerada uma tecnologia recente, o efeito fotovoltaico foi descoberto no século XIX e a primeira aplicação prática ocorreu em 1958, conforme a figura 9 que apresenta um breve histórico da tecnologia fotovoltaica.

Figura 9 – Linha do tempo da tecnologia fotovoltaica



Fonte: BALFOUR, SHAW E NASH (2019) e USHER (2019), adaptado pelo autor.

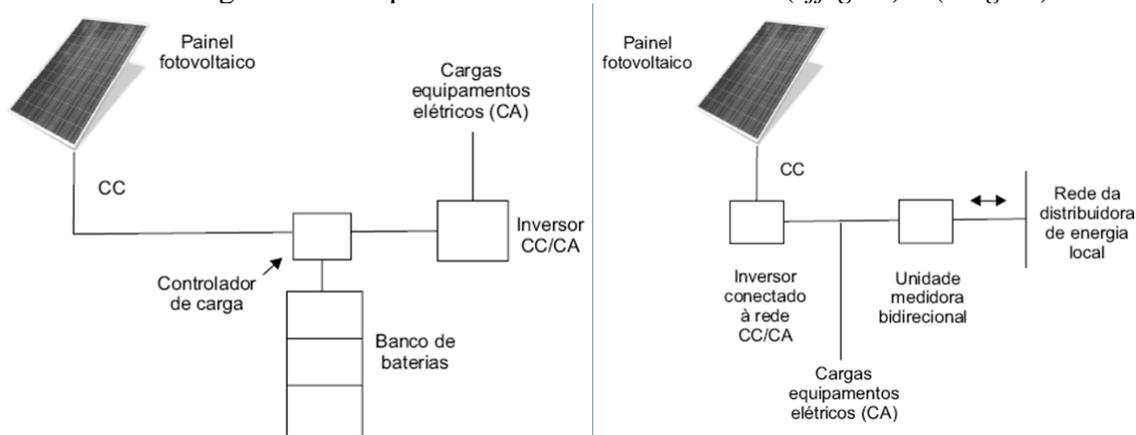
O crescimento no setor de energia fotovoltaica, dentre as energias renováveis, é devido à estrutura modular dos sistemas, permitindo que seja empregado em diferentes potências instaladas, variando de Watts até Megawatts. A queda no preço dos painéis é outro fator para a expansão dessa fonte de energia, entre 2013 e 2018 os preços foram reduzidos em diversos mercados, sendo que na França houve a maior redução, de 64% (VIAN et al., 2021).

As células fotovoltaicas convertem a radiação absorvida em eletricidade através de semicondutores, geralmente silício, todavia, nem toda radiação absorvida é convertida em energia elétrica, sendo a eficiência máxima teórica de 29%. Entretanto, a maior eficiência alcançada foi de 26,3% e a maioria dos painéis comercializados atinge até 20% de eficiência na conversão (USHER, 2019). Painéis de Silício Monocristalino (mais puro e de maior custo) possuem eficiência entre 15% e 21%; os de Silício Multicristalino ou Policristalino possuem eficiência entre 13% e 16%; os de silício amorfo apresenta o menor custo, porém a estrutura atômica resulta em ligações que produzem energia extra na faixa sem energia, tendendo a baixos níveis de eficiência. Também estão sendo desenvolvidas películas finas, ainda não tão eficientes, mas com melhor coeficiente de temperatura e suscetibilidade ao sombreamento (BALFOUR, SHAW E NASH, 2019).

As temperaturas também influenciam no desempenho do sistema, que funciona melhor em temperaturas mais amenas do que em climas quentes, pois o rendimento é menor à medida que a temperatura do painel é maior (BALFOUR, SHAW E NASH, 2019). A poluição do ar pode reduzir a geração entre 5% e 15%, além de que partículas finas contribuem mais para a redução do que partículas maiores, sendo um efeito não restrito ao ambiente urbano de alta poluição, podendo ocorrer também em áreas rurais (SAILOR, ANAND E KING, 2021).

Quando os sistemas de energia fotovoltaica são conectados à rede, os armazenadores são dispensados, uma vez que a energia excedente é injetada na rede local, reduzindo também o tempo de retorno de investimentos e, caso a energia gerada seja insuficiente, a rede local pode prover o restante da energia necessária, sendo instalada uma unidade medidora bidirecional para aferir a geração e o consumo (SOWMY, 2019). O principal componente do sistema é o painel formado por células fotovoltaicas, as quais podem ser fabricadas em silício cristalino ou em películas finas a partir de semicondutores, como silício amorfo, telureto de cádmio, gálio, entre outros (ANABA E OLUBUSOYE, 2020). O inversor é o componente do sistema que converte a energia em corrente contínua para corrente alternada, além de sincronizar as fases do sistema quando há conexão com a rede; se o sistema é isolado da rede, um sistema de baterias armazena a energia gerada para posterior consumo (SOWMY, 2019). A Figura 10 apresenta a composição típica dos sistemas.

Figura 10 – Esquema do sistema fotovoltaico (*off-grid*) e (*on-grid*)



Fonte: Sowmy (2019), adaptado pelo autor.

Em relação aos impactos ambientais, a fase de produção dos painéis apresenta impactos mais significativos pela utilização de solventes e outros componentes químicos para fabricação das células, que podem ser minimizados pela reciclagem de sobras durante o processo. Nos sistemas *off-grid*, a preocupação ocorre na destinação das baterias utilizados para armazenamento (REIS, 2017). Os sistemas isolados são mais comuns em áreas rurais, não conectadas à rede das cidades, enquanto os sistemas conectados são mais presentes no meio urbano.

As matérias-primas utilizadas são abundantes, o fator que eleva os custos são os processos para a fabricação. O investimento inicial apresenta-se como a principal desvantagem do sistema, todavia, os baixos custos de operação e manutenção apresentam boa relação de custo-benefício e de retorno do investimento (BALFOUR, SHAW E NASH, 2019). Entre as limitações do sistema fotovoltaico estão: a baixa eficiência dos conjuntos (em relação à energia recebida e convertida em eletricidade), os altos custos iniciais para implantação e a geração apenas no período diurno (VIAN et al., 2021). A expectativa é de que os custos da energia solar sejam reduzidos conforme a sua introdução em uma economia de escala, sua competitividade com outras fontes dependerá das políticas e incentivos governamentais, incluindo as políticas de redução de emissões, que podem impulsionar o setor a médio e longo prazo (ANABA E OLUBUSOYE, 2020).

Os governos têm um papel fundamental para tornar os sistemas de energia renovável competitivos em relação a outras fontes tradicionais ao fornecer subsídios que reduzam os custos de capital e deem início a um círculo virtuoso de aumento de demanda e redução dos custos. No caso de projetos fotovoltaicos, o ciclo de vida projetado é, em média, de vinte e cinco anos, somado à redução de custos de implantação através de subsídios e custos de

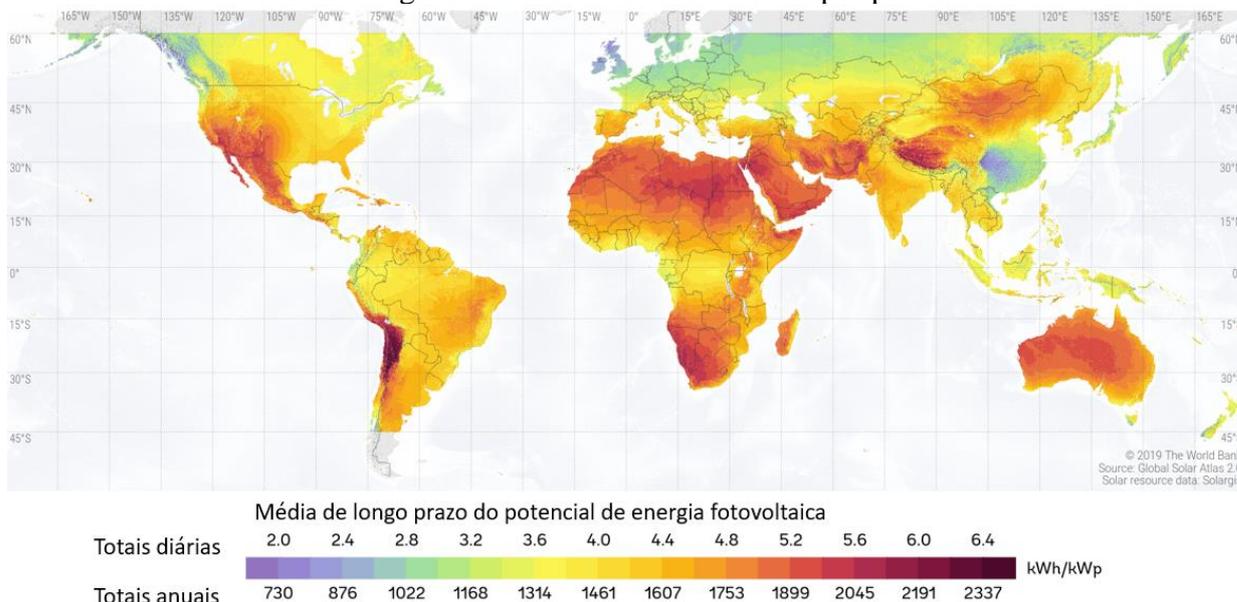
operação e manutenção baixos e, o preço fixo da venda de energia gerada, permite estabelecer um fluxo de caixa de longo prazo, com menor nível de incertezas (USHER, 2019). Nesse sentido, a cooperação entre instituições para fornecer os incentivos à implantação de fontes de energia renovável permite a ampliação da capacidade instalada em uma velocidade maior do que na ausência destes incentivos.

No Brasil, a localização geográfica entre os trópicos de Câncer e Capricórnio permite que quase a totalidade do território brasileiro receba a incidência vertical de raios solares, por consequência, esses maiores índices de radiação solar, mesmo durante o inverno, criam um ambiente favorável à adoção de energia solar (EPE, 2018a). Os valores de irradiação média anual variam conforme a região, sendo que a média de 1.200 a 2.400 kWh/m²/ano no Brasil é superior à de países europeus como a Alemanha, com 900 a 1.250 kWh/m²; a França, com 900 a 1.650 kWh/m² e a Espanha, com 1.200 a 1.850 kWh/m² (RIO GRANDE DO SUL, 2020). Referente à geração distribuída, ao considerar a projeção de domicílios para 2050, bem como o crescimento do consumo residencial, não há limitações físicas relativas às áreas de cobertura para a massificação da instalação de painéis fotovoltaicos a fim de constituir um sistema de energia distribuída para o setor (EPE, 2018a). A figura 11 apresenta o potencial fotovoltaico no Brasil:



Desse modo, o ambiente construído fornece condições para ampliação da geração fotovoltaica no Brasil, pois além das condições geográficas favoráveis, a instalação junto às unidades consumidoras também pode reduzir as perdas de distribuição de energia. A figura 12 apresenta o potencial fotovoltaico por país:

Figura 12 – Potencial fotovoltaico por países



Fonte: World Bank (2018), adaptado pelo autor.

Em 2020, a geração distribuída aumentou 137%, gerando 5.269 GWh, um crescimento expressivo em relação aos 2.226 GWh gerados em 2019 e os 35GWh gerados em 2015, sendo a energia solar fotovoltaica responsável por 90,4% da geração distribuída (EPE, 2021). Entre os benefícios da geração distribuída estão: o menor impacto ambiental; a redução de sobrecargas na rede; o aumento dos prazos e necessidade da expansão do sistema de distribuição e transmissão, bem como a redução de perdas e, o uso de fontes alternativas de energia. O sistema de compensação de geração de energia elétrica é permitido para unidades classificadas como microgeração ou minigeração. Os sistemas conectados à rede elétrica com potência até 75 kW são classificados como microgeração distribuída, normalmente, residências, comércios e pequenas indústrias. Os sistemas com potência entre 75 kW e 5MW são classificados como minigeração, geralmente, indústrias e comércios de grande porte (NAKANO, PACHECO E GRIMONI, 2021).

A geração distribuída no Brasil aumentou a partir de 2012 por meio de políticas públicas. A energia gerada excedente pode ser injetada na rede, gerando créditos de faturamento para os proprietários, podendo utilizar os créditos em um período de até 60 meses. Os estados que concentram as maiores potências de geração são: Minas Gerais, 372 MW; Rio Grande do Sul,

223MW e São Paulo, 194MW (EIA, 2019). A Lei 8.922/20 do Estado do Rio de Janeiro prevê incentivos fiscais para geração fotovoltaica, com validade até 2022, reproduzindo os incentivos já implantados em Minas Gerais, isentando pequenos geradores de energia fotovoltaica da cobrança de ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) referente à energia injetada na rede, limitada à microgeração – até 75kW e à minigeração de 75kw a 5MW, porém não se aplica ao custo de disponibilidade (ABSOLAR, 2020).

No Rio Grande do Sul, cerca de 12 mil unidades foram instaladas, totalizando 144,4 MW, correspondendo a 12,3% da capacidade instalada de geração distribuída no Brasil, valor superior ao estado de São Paulo e inferior ao de Minas Gerais, com 212,3 MW instalados. O estado também tem elaborado políticas públicas e incentivos fiscais, como a redução de ICMS para incentivar a adesão à energia fotovoltaica, além do desenvolvimento do Atlas Solarimétrico como instrumento de suporte a tomada de decisão para investidores (RIO GRANDE DO SUL, 2020). Contudo, dois desafios estabeleceram-se a partir de 2020 para o setor da geração distribuída.

Primeiro, o cenário de crise hídrica fez com que o governo brasileiro utilizasse energia proveniente de fontes termelétricas a fim de garantir o fornecimento de energia ao custo de 13,1 bilhões em 2021, conforme simulações do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), atingindo o recorde diário de 19,2 mil megawatts gerados por termelétricas (G1, 2021). Além do impacto financeiro aos consumidores, a utilização das termelétricas também impacta o meio ambiente por meio das emissões de CO₂ e, demonstra como os aspectos climáticos afetam a garantia do fornecimento de energia. Em 2016, já havia um estudo do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) demonstrando a vulnerabilidade climática no setor de energia em relação à produção hidrelétrica nas regiões norte e centro do Brasil. Além disso, também já foram identificadas outras vulnerabilidades, como a elevação da temperatura, que reduz a capacidade de transmissão de energia; a densidade do ar, que impactará no desempenho e campo elétrico e os ventos, que poderão danificar as instalações (EPE, 2018b).

Outro desafio é a Lei 5829/19 – Marco Legal da geração distribuída, que tem sido alvo de discussões e foi sancionada em janeiro de 2022 (BRASIL, 2021). Antes de ser sancionado, o projeto de lei estendeu a aplicação tarifária dos sistemas de transmissão e distribuição para usuários com micro e minigeração distribuída. Os consumidores que utilizam a micro e minigeração não pagariam o encargo até 2040, porém, arcariam com custos de disponibilidade e demanda (AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS, 2020). Visando trazer segurança jurídica ao setor que cresceu 316% nos dois anos anteriores, a lei regulamenta questões como conexão livre dos consumidores às distribuidoras, faturamento das tarifas, custos de uso de rede e

encargos no Setor elétrico e, transições graduais nas regras. Segundo a ANEEL, as regras anteriores à lei acarretariam a transferência de 55 bilhões de reais em custos aos consumidores fora da geração distribuída no período de 15 anos (GOVERNO DO BRASIL, 2022).

A aplicação de taxas sobre a energia fotovoltaica gerada, proposta pela ANEEL, reduzindo para 38% de compensação, faria com que os consumidores pagassem pela energia consumida no período em que a produção de energia é menor do que o consumo. A taxa é aplicada em outros países, porém, com o setor consolidado, diferentemente do que ocorre no Brasil (PORTAL SOLAR, 2020). Além disso, os argumentos de que custo da geração distribuída são repassados aos demais consumidores é passível de discussão, visto o alto custo e a insegurança gerados pela crise hídrica iniciada em 2020, pois o custo do acionamento das usinas termelétricas será repassado através de aumento tarifário aos consumidores. Outro fator crítico para a ampliação dos sistemas de geração distribuída é o armazenamento, devido às implicações técnico-econômicas, além da variação entre geração e demanda em diferentes momentos do dia (DOWDS E YOU, 2019).

O estudo de Didoné, Wagner e Pereira (2014) simulou a geração fotovoltaica em Fortaleza-CE e Florianópolis-SC, visando o aproveitamento para edifícios autossuficientes em energia, demonstrando que mesmo com a maior irradiação solar e potencial de geração, cidades em climas mais temperados tendem a apresentar maior consumo de energia e, de forma análoga, cidades com menor irradiação podem apresentar menor consumo. Dessa forma, climas diferentes requerem estratégias de redução de consumo e geração de energia adequadas ao contexto local. Conforme Moreira Júnior e Souza (2020), a irradiação disponível permitiria ao Brasil tornar-se um dos líderes do setor de geração fotovoltaica, visto que a Alemanha, um dos líderes atuais, dispõe de cerca de 40% menos radiação que a localização de menor insolação no Brasil, no entanto, apesar disso, a Alemanha encontra-se estágios a frente em relação à pesquisa e à tecnologia desse setor.

Conclui-se que o Brasil oferece as condições necessárias para um aumento substancial da participação de energias renováveis, desde que haja o correto aproveitamento e, também, incentivos para a massificação desses sistemas, seja por incentivos aos consumidores que gerem sua própria energia, ou através do fomento à pesquisa e à indústria para a produção de painéis fotovoltaicos nacionais, a custos competitivos e com menor impacto ambiental.

2.4. Eficiência energética e certificações ambientais

Conforme o Plano Decenal de Energia (EPE, 2015), a eficiência energética está relacionada à quantidade final consumida para a produção de um bem ou realização de um serviço, um potencial técnico, ao invés de estar relacionada a uma quantidade mínima necessária para a realização destes. A eficiência energética também pode ser compreendida como uma medida de trabalho útil a ser convertida em energia. É a capacidade de um dispositivo converter um tipo de energia em outra de modo otimizado ao reduzir conversões desnecessárias de energia e perdas de calor sem nenhum propósito e, manter os mesmos níveis de energia com custos reduzidos (MARTINEZ, EBENHACK E WAGNER, 2018).

A eficiência energética no setor da construção civil tem papel relevante na redução do desperdício de energia e recursos esgotáveis, permitindo reduzir emissões quando aliada a estratégias de energia renovável (TEBBOUCHE, BOUCHAIR E GRIMES, 2017). No Brasil, as edificações são responsáveis por 52% do consumo de eletricidade, sendo que as residências utilizam 46% de eletricidade em seu consumo total e os edifícios comerciais utilizam 92% de energia elétrica em seu consumo (EPE 2020). Nesse contexto, as estratégias de eficiência energética em edificações podem ser definidas como técnicas para reduzir o consumo de um edifício, mantendo o mesmo nível de uso, através do aumento da razão entre a energia produzida e a energia consumida, concentradas na fase de uso da edificação, a fim de reduzir os custos de manutenção e operação, resultando também em uma otimização de custos e aumento da confiabilidade dos sistemas (NETO et al., 2019).

Os prognósticos referentes à eficiência energética preveem dois cenários coexistentes, sendo o primeiro de progresso tendencial, em que a eficiência energética se dá pela reposição de equipamentos ao término da vida útil, sendo substituídos por equipamentos mais eficientes, além dos programas existentes de conservação de energia. O segundo trata-se do progresso induzido através de programas específicos para setores, além de políticas públicas que tratem da eficiência energética (EPE, 2015). Os usuários das edificações também influenciam na redução do consumo de energia ao adotarem rotinas e comportamentos visando esse objetivo, visto que a certificação do edifício pode ser um fator de engajamento nesse sentido, influenciando os usuários a adotarem um comportamento pró-ambiental (HILL et al., 2019). Nesse contexto, diversas certificações têm contribuído para a implantação de edifícios com alto desempenho energético.

O *Building Research Establishment* (BRE) desenvolveu o primeiro sistema de certificação de edificações, o *BRE Environmental Assessment Method* (BREEAM), em 1990,

classificando as edificações em critérios de desempenho referentes à água, energia e materiais, utilizando um edifício de referência como base de avaliação. O *US Green Building Council* implantou em 1998 o sistema LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), com requisitos conforme as tipologias de edificação e urbanísticas, tais como escolas, hospitais, bairros, entre outros. A partir dessas certificações, outras certificações de nível internacional foram criadas, como a *Green Star* na Austrália, a *CASBEE* (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*) no Japão e a *GBEL* (*Green Building Evaluation Label*) na China (KIBERT, 2020).

Conforme Tebbouche, Bouchair e Grimes (2017), o reconhecimento da qualidade ambiental das construções incentivou diversos países a estabelecerem parâmetros de qualidade associados a contextos geográficos e econômicos, integrados na concepção, execução e gestão de novas edificações, bem como avaliação e melhorias para edificações existentes. Embora a sua adoção seja voluntária, as certificações têm exercido um papel fundamental na implantação de espaços urbanos e edificações com alta qualidade ambiental.

Grande parte das certificações tem por objetivo padronizar requisitos de sustentabilidade, de modo a melhorar o desempenho ambiental e energético das edificações. Também são abordadas questões relativas à inserção da edificação no entorno, eficiência energética, gerenciamento de resíduos, gerenciamento e reuso das águas, qualidade dos ambientes internos, qualidade dos materiais e técnicas construtivas empregadas e, também, medidas de segurança (TEBBOUCHE, BOUCHAIR E GRIMES, 2017). O estabelecimento desses requisitos também constitui um referencial para que os projetistas definam quais estratégias poderão adotar, independentemente do processo de certificação. A Figura 13 apresenta algumas das certificações ambientais existentes.

Figura 13 – Certificações para construções sustentáveis



Fonte: Tebbouche, Bouchair e Grimes (2017).

No Brasil, as principais certificações têm induzido à implantação de edificações sustentáveis e energeticamente eficientes, entre elas, as certificações LEED (*Leadership in*

Energy and Environmental Design), AQUA (Alta Qualidade Ambiental) e Procel Edifica. Além dessas, políticas anteriores também induziram esse processo, como o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), o qual classifica equipamentos e edificações quanto aos níveis de eficiência, disponibilizadas na etiqueta, informando os consumidores quanto ao desempenho energético. O Procel Edifica, dentro do PBE, avalia as edificações a partir de requisitos de envoltória, iluminação e climatização (NETO et al., 2019). O Procel estima um consumo evitado de 24 GWh pelas edificações certificadas entre 2015 e 2019 (EPE, 2020).

No Procel-Edifica, o desempenho da edificação é comparado a quatro edificações classificadas como A, B, C e D, de mais eficiente a menos eficiente, respectivamente. Tanto nessa certificação, quanto nas certificações LEED, a ênfase é dada no desempenho energético, mesmo com a avaliação de outros critérios. Outra certificação disponível no Brasil é a AQUA, a qual avalia também o consumo de água e a qualidade dos ambientes interiores, enfatizando os aspectos qualitativos mais do que os indicadores de desempenho (NETO et al., 2019). Cabe salientar a necessidade de especialistas para que sejam realizadas as medições de desempenho térmico e de outros requisitos, além de simulações durante as fases de projeto.

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - RTQ-C apresenta requisitos técnicos e metodologias para a classificação de eficiência energética de edificações de modo a criar parâmetros para etiquetagem de desempenho. A etiquetagem ocorre a partir do método prescritivo, baseado em simulações limitadas a um número de casos ou o método de simulação, recomendado para edificações com elevado Percentual de Área de Abertura na Fachada total - PATf (PBE EDIFICA, 2013).

A classificação avalia o Sistema de Iluminação, Sistema de Condicionamento de Ar e Envoltória, com níveis individuais de eficiência variando de A até E, mais eficiente até menos eficiente, respectivamente, sendo que parcelas de edificações podem ser avaliadas também. A classificação final é composta pela combinação de metodologias de avaliação e atribui pesos de 30% para sistemas de iluminação e envoltória e 40% para o sistema de condicionamento de ar, cabendo salientar que a obtenção da etiqueta não é definitiva, podendo ser objeto de melhorias conforme a inserção de novas tecnologias (PBE EDIFICA, 2013). Neste contexto, surgem novas certificações com metodologias mais simplificadas para acelerar o processo de implantação de edificações sustentáveis no Brasil. Em 2021, a INI-C (Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais) foi publicada, visando aperfeiçoar os RTQ-C e introduzindo definições relacionadas aos NZEBs (INMETRO, 2021).

Cabe mencionar a Certificação GBC Brasil *Zero Energy*, que tem como objetivos: contribuir para as metas da COP Paris (Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2015); potencializar a geração de fontes renováveis e melhoria de eficiência energética no Brasil; promover ambientes saudáveis e melhoria do bem-estar dos seus ocupantes; induzir o desenvolvimento de novas tecnologias; gerar empregos e, promover o empreendedorismo. O GBC Brasil define um edifício *Net Zero Energy* como uma edificação em que o consumo de energia da operação referente a um ano é zerado pela utilização de eficiência energética e geração de energia limpa, proveniente de fontes renováveis. O monitoramento é contínuo por um ano a fim de comprovar o balanço energético, sendo que edifícios novos ou com tempo de operação inferior a um ano podem receber a pré-certificação (GBC BRASIL, 2020).

Além disso, o atendimento da condição zero energia durante um ano e a utilização de um sistema *on-grid* dispensam a avaliação de envoltória e sistemas pelo método RTQ-C, ou seja, se a edificação produzir mais energia do que consome, as avaliações quanto ao desempenho de envoltória e sistemas será dispensada para fins de obtenção da certificação, tornando o processo mais simplificado. Até abril de 2022, cinquenta e três empreendimentos já participam da certificação, com 20 edifícios já certificados, sendo que no Rio Grande do Sul duas agências bancárias, em Pelotas e Tapejara, já estão registradas aguardando certificação (GBC BRASIL, 2022). A certificação também prevê a compra de créditos de energia renovável para compensar a energia restante para atingir o balanço energético. A figura 14 apresenta os créditos avaliados:

Figura 14 – Créditos analisados pela certificação GBC Brasil Zero Energy



Fonte: GBC Brasil (2020).

Outra referência é o Programa de Edifícios Públicos Zero Energy do Paraná, uma iniciativa do governo do Estado do Paraná através da Secretaria de Desenvolvimento Urbano e

Obras Públicas, do Serviço Social Autônomo Paraná cidade e da Agência de Fomento do Paraná em parceria com o GBC Brasil e do Instituto Purañã; o programa pretende tornar as edificações públicas do estado autossuficientes em energia. Cerca de 246 edificações em 7 cidades serão beneficiadas, sendo que 208 serão autossuficientes e as demais receberão infraestrutura de energia renovável. Serão investidos cerca de R\$ 45.497.790,08 para a execução dos projetos, que conta com captação de agências de fomento, permitindo a redução de 25% do consumo por iluminação e 35% do consumo para climatização somados a 6,8 mil MWh de energia renovável gerada. A economia estimada é de R\$ 6,4 milhões anuais, permitindo um *payback* de 2,78 anos para o retorno do investimento (GBC BRASIL,2021).

No meio urbano, a definição de índices urbanísticos básicos e máximos que regulem a forma das edificações deverá ser considerada para a elaboração de políticas energéticas a nível municipal, induzindo as soluções distribuídas ou concentradas no território das cidades, associadas a aspectos do microclima, tais como a irradiação solar, ventilação e, também, áreas de possível verticalização e adensamento (GIROTTI, MARINS E LARA, 2018). A inclusão da temática de autossuficiência energética nas políticas públicas permitirá acelerar e ampliar a geração distribuída de energia renovável e reduzir o consumo de edifícios novos e existentes de forma integrada, em consonância com as metas do ODS 7 da agenda 2030.

2.5. Ações de eficiência energética nos Campus universitários

As universidades podem desempenhar um papel importante no desenvolvimento e aplicação de tecnologias voltadas à eficiência energética e geração renovável. Por exemplo, a Universidade Politécnica da Catalunha (UPC) adotou, a partir de 1995, uma metodologia voltada à elaboração de diretrizes de avaliação de sua estrutura física, sejam edifícios existentes ou novos, aplicando conceitos relativos ao meio ambiente para uma educação sustentável. O Plano de Eficiência de Consumo e Recursos e a avaliação das edificações existentes visam identificar as potencialidades e os pontos fracos de edifícios, bem como melhorias relativas ao desempenho e à demanda de energia, permitindo a elaboração de estratégias concretas em relação à economia de energia. Desde 2006 foi implantado um sistema para a medição de consumo em tempo real, permitindo a identificação de padrões de consumo, que são conectadas com as informações de características construtivas, sistemas e usuários, fornecendo dados para a criação dos indicadores de auditoria energética dentro do Sistema de Informação sobre Energia e Água – SIRENA (FRANDOLOSO, 2019).

Um dos primeiros passos para a definição de estratégias de eficiência energética é o levantamento da infraestrutura construída dos campi, determinando os fatores que influenciam no consumo das edificações. Conforme Aguayo-Ulloa, Valderrama-Ulloa e Rouault (2017), a idade das edificações é um fator a ser considerado, com edifícios mais eficientes construídos a partir da década de 1980, com tecnologias e padrões de isolamento térmico melhores do que edificações das décadas anteriores. Além de sistemas mais eficientes, em geral, edificações mais novas apresentam aproveitamento de iluminação natural e melhor projeto de envoltória. A zona bioclimática em que os edifícios estão inseridos também deve ser considerada, pois mesmo localizados em uma mesma zona, os municípios podem apresentar características que demandem de diferentes estratégias construtivas (BAVARESCO et al., 2021).

As universidades podem contribuir para o ODS 7 por meio da criação de departamentos e planos de sustentabilidade; transição energética para energias limpas e renováveis; implantação de diretrizes de desempenho energético das edificações, se possível certificadas; uso racional da energia através da conscientização; palestras e eventos voltados ao uso eficiente da energia; monitoramento do consumo, através de dados públicos; utilização de meios de transporte elétricos; apoio a projetos de pesquisa com soluções e tecnologias relativas à energia (REBELATTO, 2020). As soluções desenvolvidas nas universidades podem ser replicadas para outras edificações e cidades, a seguir, serão apresentados estudos de caso de instituições com programas e ações voltadas para a eficiência energética e energia renovável.

A TU Delft na Holanda tem implantado medidas para reduzir o impacto ambiental com o objetivo de um campus sem emissões de CO₂ até 2030. O corpo docente e o mercado são integrados aos projetos de reforma e novas construções, buscando soluções inovadoras, como o Edifício Pulse, o primeiro com energia neutra no campus (TU DELFT, 2020a). O Edifício Pulse é parte da Escola de Engenharia, sendo utilizado como modelo de eficiência energética, foi projetado em três etapas distintas, avaliando questões relativas à educação, sustentabilidade, simbolismo do edifício e, também, o ciclo de vida da edificação, de modo a utilizar o edifício para engajar os estudantes, prepará-los para o mercado de trabalho, em conjunto com o ensino e pesquisa sobre a eficiência energética (FRANDOLOSO, 2019).

Um conjunto de 490 painéis fotovoltaicos foi instalado sobre a cobertura, com rendimento anual de 150.000 kWh, fornecendo energia suficiente para o edifício, o qual também possui vidros isolantes térmicos, acumulador térmico subterrâneo e sistema inteligente para gerenciar iluminação, ventilação e aquecimento (TU DELFT, 2020c). Em relação à energia renovável do Campus, a TU Delft planejava gerar um quarto da demanda em 2020 ou comprar energia de fontes renováveis fora do campus, além de reduzir em 40% o consumo de energia e

em 50% as emissões de CO₂. Através de um subsídio do governo holandês foram instalados 4.000 painéis fotovoltaicos, que geram 1.000.000 kWh anuais, suprimindo parte da demanda da universidade, sendo os dados de geração divulgados em tempo real no site da instituição (TU DELFT, 2020b).

A Monash University, em Melbourne, Austrália, estabeleceu um plano a partir do conceito zero carbono para a sua infraestrutura com 150 edificações distribuídas em quatro campus. O objetivo principal é zerar as emissões de carbono até 2030, com todos os edifícios e equipamentos consumindo apenas energia elétrica, a fim de garantir que a energia seja fornecida por fontes renováveis, juntamente com estratégias de eficiência, como a melhoria de sistemas de iluminação, aquecimento, bombas de calor, fachadas de alto desempenho. Há um departamento de pesquisa multidisciplinar, o *Monash Energy Materials and Systems Institute* (MEMSI), responsável por realizar a interface entre o setor de pesquisa acadêmico e a indústria de energia para o desenvolvimento conjunto de soluções e tecnologias (MONASH UNIVERSITY, 2020a).

Também está prevista a aquisição de certificados de energia renovável ou RECs (*Renewable Energy Certificate*), em que a energia gerada em um parque eólico fora do campus será utilizada para compensação de consumo, além de 4.000 painéis fotovoltaicos já instalados (MONASH UNIVERSITY, 2020b). A Monash University vê esse plano como uma possibilidade de causar um impacto global, a partir do contexto local, envolvendo a comunidade no processo (MONASH UNIVERSITY, 2020a). O *Woodside Building for Technology and Design* é o primeiro edifício neutro em carbono dessa universidade, objetivo alcançado através de eficiência energética e compensação de emissões por meio de créditos de carbono (MONASH UNIVERSITY, 2021).

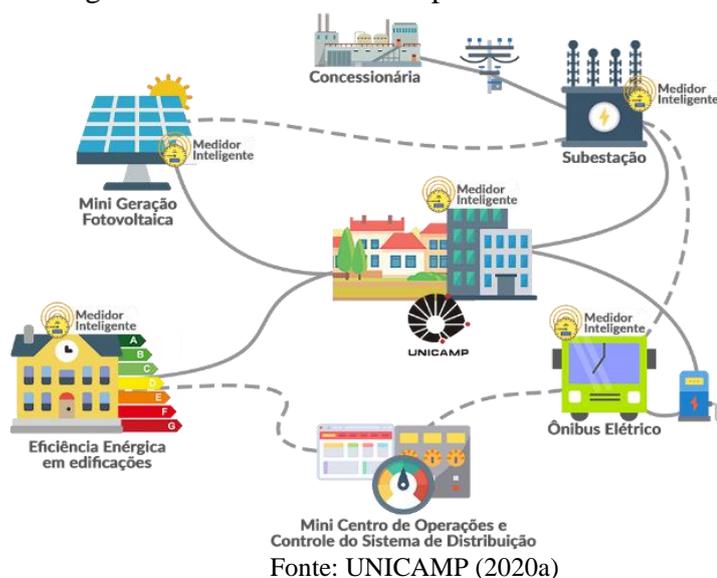
A Leiden University, na Holanda, também utiliza estratégias de eficiência energética, entre elas estão a frota de veículos elétricos da universidade, a redução significativa de emissões através da redução do consumo e a compra de energia com certificados verdes, diminuindo em 51% as emissões de carbono em 2019 em comparação a 2016. O Green Office da universidade também contribuiu com temáticas verdes, envolvendo a comunidade acadêmica e funcionários em prol do desenvolvimento sustentável (LEIDEN UNIVERSITY, 2020).

Outro estudo de caso é a Universidade Eastern Finland - UEFI, o qual possui um Plano Ação Climática que identifica a pegada de carbono por setor da instituição. Desde 2018, 100% da energia utilizada pela universidade é proveniente de fontes renováveis, incluindo a hidráulica, eólica e bioenergia. Em 2019 foram gerados 14.500 kWh a partir de painéis fotovoltaicos. Além disso, foi realizada a instalação de lâmpadas de LED nas áreas internas e

externas do campus, com sensores que regulam a intensidade conforme a disponibilidade de luz natural. No campus há uma edificação com alta classificação de eficiência energética utilizada como centro de formação de professores (UEFI, 2021). A Luiss University em Roma, Itália, utiliza energia proveniente de fontes renováveis para suprir 80% de seu consumo. Ainda, há um programa de mobilidade com veículos elétricos através da plataforma Electric Drive Italia BOMTS, com carros compartilhados e estações para recarga, bicicletas elétricas e, também, abrange uma frota de ônibus elétricos, oferecendo mobilidade (LUISS, 2020).

No Brasil, a Universidade de Campinas – UNICAMP, em parceria com a CPFL Energia, investiu cerca de 9,5 milhões de reais relacionados aos programas da ANEEL referentes à Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e Programa de Eficiência Energética (PEE), com objetivo de constituir um modelo de gestão e de recursos energéticos a ser replicado para outras instituições brasileiras e latino-americanas (UNICAMP 2020a). A Figura 15 apresenta o conceito de laboratório vivo.

Figura 15 – Conceito de campus como laboratório vivo



Oito ações integradas fazem parte do programa, entre elas a instalação de medidores de energia conectados em tempo real a um centro de operação; a instalação de painéis fotovoltaicos; a instalação de aparelhos de climatização mais eficientes; a substituição de lâmpadas; o transporte interno com ônibus elétrico; o uso de sensores inteligentes – *Internet of things* (IoT) para auxiliar usuários quanto ao uso de energia; a melhora na contratação de energia e a capacitação sobre o tema da eficiência energética para a comunidade acadêmica e externa (UNICAMP 2020a). O sistema fotovoltaico com 534 kWp de capacidade fornecerá dados sobre o uso dos módulos, modelagens sobre radiação solar e estudos de solarimetria, além de propiciar a avaliação de metodologias de desempenho, simulações energéticas e de

desempenho, entre outros estudos que poderão ser desenvolvidos (UNICAMP 2020b). Outro objetivo é integrar o projeto ao ensino e pesquisa, abordando o conceito do Campus como Laboratório Vivo, um local para desenvolvimento de novas tecnologias sustentáveis (UNICAMP 2020a).

Conforme Daneli (2019), a Universidade de Passo Fundo também tem implantado estratégias relativas à eficiência energética e sustentabilidade na última década. As ações decorreram de uma diretriz interna da Universidade, coordenando esforços em diversas frentes para racionalizar o consumo de energia. A primeira das ações é a gestão de indicadores de custo e consumo de energia por setores, permitindo o controle e mensuração da energia utilizada por infraestruturas e edifícios e o estabelecimento de metas de redução. De acordo com Frandoloso (2020), a política de Responsabilidade Social trata das ações de sustentabilidade voltadas para os aspectos ambientais, econômicos e sociais desde o ano de 2012, mesmo ano em que o Plano de Desenvolvimento Institucional foi implantado, abordando o equilíbrio de econômico da instituição, através do consumo eficiente e autoeficiência energética.

A partir de 2018, a UPF migrou para o mercado livre de energia, que permite optar por fornecedores de energia provenientes de fontes renováveis, permitindo também um preço de energia estável, ou seja, não sofre interferências como o aumento de demanda ou condições climáticas que exigem o suprimento de energia por fontes não renováveis, como ocorre no fornecimento tradicional. Essa estratégia permitiu a redução de 19% nos custos de energia, a previsibilidade dos gastos energéticos em períodos de 3 a 5 anos, equivalentes aos contratos de fornecimento de energia (DANELI, 2019). Em 2020, a UPF recebeu o Certificado de Redução de Emissões de Gases do Efeito Estufa 2020, pela Ludfor Energia LTDA, totalizando 467 toneladas de CO₂ que deixaram de ser emitidas desde outubro 2018 através do consumo de fontes exclusivamente renováveis (UPF, 2020b). Quanto à infraestrutura de energia, o estudo de Daneli (2019) observa que as redes de baixa e média tensão receberam melhorias visando à diminuição de perdas de energia decorrentes de redes subdimensionadas, contribuindo também para a continuidade do fornecimento de energia.

Dentre os programas de retrofit da infraestrutura, há a substituição de climatizadores existentes por modelos inverter, com maior eficiência, com economia de até 50% em relação aos climatizadores convencionais. Além disso, foi implantado um programa de substituição de lâmpadas fluorescentes por modelos com tecnologia LED, com maior vida útil, sendo que na Biblioteca Central, a redução do consumo atingiu 73% por meio do retrofit. Outro retrofit foi realizado na iluminação das vias e áreas externas, substituindo lâmpadas de vapor metálico por LED, com uma redução de aproximadamente 60% no consumo, somados à automatização

através de um *smart grid*, permitindo o controle de acionamento e dimerização de forma remota, reduzindo também o consumo e aumentando a vida útil dos sistemas (DANELI, 2019).

A avaliação de Daneli (2019) sobre as políticas e estratégias adotadas pela UPF identificou o parque de Geração Solar Fotovoltaica, implantado no Campus I, como uma estratégia com potencial para redução de custos e emissões. O sistema é composto por uma estrutura de 54 painéis fotovoltaicos, com uma área de captação de 108m² e potência total de 17,82 kWp. A produção de energia nos doze meses iniciais totalizou 22.245 KWh, um rendimento de cerca de R\$ 15.571,31 e, aproximadamente, 22,3 toneladas de CO₂ que não foram emitidos, além de um tempo do retorno do investimento de quatro anos.

A UPF também ingressou em 2020 no UI Green Metric World University Ranking, o qual estabelece uma classificação para universidades sustentáveis. São coletadas informações sobre o porte e perfil da universidade, infraestrutura, transporte, consumo de eletricidade, áreas verdes, pegada de carbono, gestão de resíduos, uso da água, pesquisa, educação, além de políticas e ações referentes à sustentabilidade (UI GREEN METRIC, 2020a). Os indicadores possuem pesos diferentes, sendo energia e mudanças climáticas com 21%; educação, resíduos e transporte com 18%; infraestrutura com 15% e uso da água com 10% (UI GREEN METRIC, 2020b). A área de energia e mudanças climáticas é o indicador com maior peso, avaliando o total de energia consumida, o uso de equipamentos eficientes e de energias renováveis, os programas de redução de emissões, *green buildings*, a redução de consumo e a adaptação à mudança climática (GREEN METRIC, 2020c).

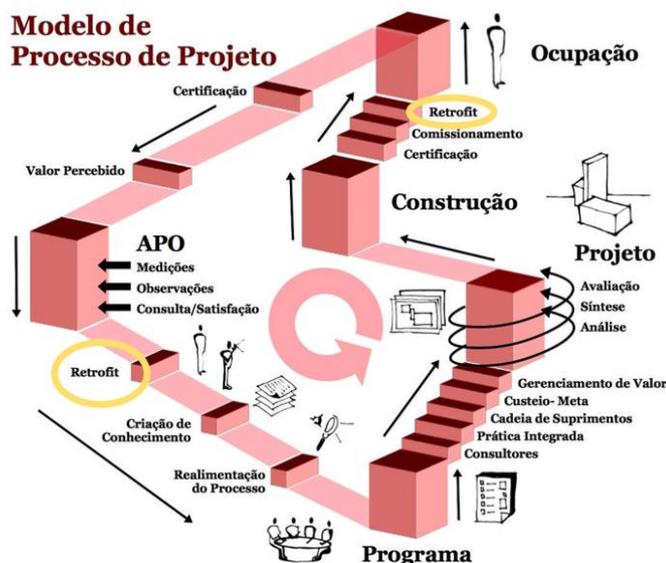
Em 2021, a UPF atingiu o 461º lugar entre 956 universidades avaliadas em 85 países, com 5.675 pontos na classificação. Na América Latina, a UPF figura como 58ª entre 119 IES participantes, no Brasil foi classificada em 20ª posição dentre 40 IES avaliadas, sendo o ranking brasileiro liderado pela Universidade Federal de São Paulo – USP; e no Rio Grande do Sul apenas 3 IES integram o ranking (UI GREEN METRIC, 2021). Essas ações de eficiência e energia renovável da UPF e o ingresso no UI GREEN METRIC já vêm contribuindo para um campus energeticamente sustentável, contudo são necessárias mais ações para que esses objetivos sejam alcançados, além de replicar esses resultados para edificações e cidades.

2.6. Retrofit de edificações – Definição e principais estratégias

Conforme Aksamija (2015), a reutilização e atualização dos edifícios existentes, através da melhoria do seu desempenho, beneficiam as economias locais no longo prazo ao utilizar a rede de edificações consolidada e em grande disponibilidade. O retrofit resulta de um processo

de retroalimentação do projeto a partir da Avaliação Pós-Ocupação (APO). A Figura 16 apresenta a inserção do retrofit no modelo de processo de projeto.

Figura 16 – Modelo de processo de projeto e a inserção do retrofit



Fonte: Kowaltowski et al. (2015), adaptado pelo autor.

Conforme Keeler e Vaydia (2018), os levantamentos da APO abordam funcionalidade, segurança, produtividade e sustentabilidade, fatores que estão relacionados de maneira direta com o bem-estar dos usuários das edificações, permitindo implantar melhorias nesses fatores. De acordo com Ornstein e Villa (2016), a APO também é entendida como uma retroalimentação no processo de projeto ao avaliar características dos edifícios na fase de operação, podendo aliar o ponto de vista dos usuários, permitindo a coleta de dados referentes a habitabilidade das edificações e fornecendo feedback das estratégias para novos projetos.

O termo “renovação” é utilizado para descrever melhorias em edificações existentes por meio de diferentes níveis de intervenção. Incorporar fontes de energia renovável, substituir ou atualizar sistemas do edifício incluindo fachada, esquadrias e vedações, sistemas de iluminação e condicionamento fornecem diferentes níveis de economia de energia. Uma única medida, como atualização de um sistema ou componente construtivo, pode ser designada como pequeno retrofit ou pequena renovação, sendo que a implantação de uma a três medidas pode prover até 30% de economia de energia (D’AGOSTINO, CUNIBERTI E MASCHIO, 2017). Um retrofit menos abrangente pode ser utilizado em casos de orçamentos limitados ou quando há apenas alguma condicionante a ser melhorada, como a atualização do sistema de iluminação artificial se o prédio já possui aproveitamento da luz e ventilação natural e, um desempenho de conforto satisfatório.

A renovação ou retrofit profundo é feito através de medidas mais abrangentes, como a renovação de diversos sistemas ao mesmo tempo, diferindo de uma renovação ou retrofit focado, que objetiva um elemento em específico (LEIVO et al., 2017). Também é entendida como uma renovação que reduz o consumo a ponto de estabelecer um edifício com alto desempenho energético. Conforme o Parlamento Europeu, a remodelação da edificação reduz o consumo de energia em pelo menos 80%, sendo que as diretivas implantadas nos países da União Europeia devem induzir a melhorias de eficiência energética acima de 60% (D'AGOSTINO, CUNIBERTI E MASCHIO, 2017). A renovação profunda pode envolver envoltória, incluindo fachadas, esquadrias e coberturas, a fim de melhorar o desempenho energético da edificação além de seus sistemas, bem como incorporar estratégias de design passivo e fornecer dados para novos projetos.

Edifícios institucionais e comerciais de grande porte apresentam condicionantes que induzem a diversas abordagens e que podem ser simuladas a fim de selecionar as melhores estratégias de design passivo (KIBERT, 2020), maximizadas pela arquitetura das edificações, reduzindo de maneira efetiva o consumo de sistemas de climatização, mantendo o interior em uma zona de conforto, por exemplo (KEELER E VAIDYA, 2018). O design passivo inclui estratégias que permitem a redução do consumo de energia utilizando a radiação solar, a ventilação natural e a vegetação, definindo aspectos energéticos antes dos sistemas mecânicos e instalações. Entretanto, é complexo devido às condicionantes ambientais, tais como a orientação solar, o padrão de umidade, a vegetação, a velocidade dos ventos, além da altitude (KIBERT, 2020).

A redução das cargas térmicas internas pode ser obtida pelo aproveitamento da iluminação natural, que além de reduzir o consumo de energia elétrica, remove também a carga térmica gerada por lâmpadas e luminárias; a redução de carga térmica através de aparelhos mais eficientes, bem como o controle dos horários de funcionamento desses aparelhos, os quais, por vezes, podem consumir mais energia pelo tempo em *stand-by* do que pelo tempo de uso efetivo. Apesar dos usuários também produzirem calor, a redução no número de ocupantes do edifício não é uma estratégia viável (KIBERT, 2020). O uso dessas estratégias pode estabelecer um projeto resiliente, pois o desempenho passivo da edificação pode ser utilizado durante toda a vida útil, diferentemente dos sistemas de climatização ou iluminação artificial (KEELER E VAIDYA, 2018). Em edificações existentes, a incorporação de estratégias de design passivo pode ser mais onerosa devido à modificação de algumas características construtivas, além da dificuldade em alterações relativas à orientação solar e à topografia de uma edificação já consolidada.

Os fatores ambientais, como temperatura do ar, temperatura radiante, direção dos ventos e umidade relativa, variam dentro das edificações e os padrões de conforto térmico são baseados na junção dessas variantes (KEELER E VAIDYA, 2018). A cobertura é a principal área de transmissão térmica em decorrência da exposição à radiação solar, nesse sentido, coberturas com cores claras, com maior refletividade podem contribuir para a redução da carga térmica do edifício e o entorno, enquanto coberturas escuras apresentam tendência à absorção da radiação (KIBERT, 2020). O conforto nos ambientes internos, além da temperatura, relaciona-se ao conforto acústico e, também, ao conforto visual dos usuários, influenciado pelos sistemas de iluminação natural e artificial (BID, 2020). O correto aproveitamento das condicionantes naturais pode contribuir de maneira significativa com a eficiência energética e habitabilidade de uma edificação.

Em um cenário de pandemia da COVID-19 a partir de 2019/2020, os sistemas de climatização passaram a desempenhar um papel importante na qualidade do ar interno das edificações. Ambientes não climatizados e sem sistemas de ventilação tornam-se insalubres e prejudiciais à saúde de seus usuários, sendo recomendada a renovação e circulação do ar, reduzindo também a concentração de poluentes; a filtragem, retendo gotículas e material particulado, que carregam poluentes e agentes biológicos; o controle de umidade e temperatura, além do conforto dos usuários, pode reduzir a proliferação de microrganismos como o vírus da COVID-19; e o monitoramento da qualidade do ar, a fim de controlar os níveis de CO₂ nos ambientes (ABRAVA, 2021). Estudos tem avaliado a redução de consumo através do retrofit de climatização, seja pela utilização de climatizadores tipo VRF (DUARTE, MELO E LAMBERTS, 2019) ou pela definição de temperatura padrão de operação (BRUGNERA et al., 2019).

O uso da iluminação natural é essencial para que um edifício seja eficiente em energia, sendo que simulações para otimizar esse recurso são fundamentais para entender ganhos e perdas por meio das aberturas e, a necessidade de suplementação através da iluminação artificial. Ainda, há benefícios para a saúde física e mental dos usuários pela inserção da iluminação natural nos ambientes internos (KIBERT, 2020). Um estudo realizado pela UPMC/INSERM na França avaliou o impacto da iluminação natural no desempenho acadêmico de crianças, demonstrando que alunos em ambientes escolares com janelas maiores, com aberturas voltadas para sul (equivalente à orientação solar norte no Brasil) e controle de iluminação obtiveram desempenho melhor em testes de lógica e matemática, visto que o desempenho dos alunos foi de cerca de 15% maior em salas com grandes aberturas em relação ao das salas com aberturas pequenas. Além disso, as salas com melhor orientação solar e

sistemas de sombreamento obtiveram resultados ainda maiores (VELUX, 2020a). Portanto, os benefícios não são apenas referentes à redução do consumo de energia, mas também à qualidade dos espaços e conforto visual para os usuários.

Os projetos luminotécnicos devem integrar iluminação natural e artificial de modo a alcançar os maiores índices de eficiência energética, uma vez que o layout interno, fachadas, orientação solar influenciam diretamente esses sistemas de iluminação, sendo o aproveitamento da luz natural um fator para redução de consumo de energia, desde que não gere a necessidade de resfriamento dos ambientes em função dos ganhos de calor (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2014). Os níveis de iluminação natural também são definidos por fatores como a localização geográfica, as condições do céu, a orientação solar, os elementos externos de vegetação e construção, a dimensão e configuração de esquadrias, persianas, protetores ou *brises-soleil*, a refletância das superfícies internas e, também, o efeito albedo (CARLETTI et al., 2017). Além disso, entre os benefícios da utilização da iluminação natural estão a melhoria do índice de reprodução de cores (IRC), da produtividade e do bem-estar dos usuários (FONSECA E PEREIRA, 2017).

O consumo de energia pelo sistema de iluminação artificial é responsável por, aproximadamente, 19% do consumo de energia elétrica de uma edificação, visto que edifícios com escritórios representam o maior consumo de energia devido a esse sistema. O aproveitamento da luz natural de forma integrada à iluminação artificial, pode reduzir o consumo de 30% a 77%, sendo o consumo médio anual de energia elétrica do sistema de iluminação de 21 kWh/m²/ano na Europa, reduzindo para 5 kWh/m²/ano a 9 kWh/m²/ano quando da integração com a iluminação natural (CARLETTI et al., 2017). Soma-se a isso, o fato de que as novas tecnologias que vêm sendo desenvolvidas, como lâmpadas mais eficientes com controle de dimerização e temperatura de cor, permitem uma melhor eficiência do sistema aliada a novas funcionalidades.

A base do conceito de edifícios inteligentes é o uso de sensores automatizados, os quais possibilitam regular o nível de iluminação artificial e os padrões de conforto dos ambientes, controlar o consumo de gás, água e energia elétrica, estando relacionado ao conceito de Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT). A utilização desse conceito contribui para a gestão otimizada do uso da energia elétrica, bem como a identificação de padrões de consumo (GRIMONI E BARRETO, 2021). Ainda conforme Kibert (2020), a automação predial também pode contribuir para um edifício eficiente através do conceito de edifícios inteligentes, conectando sistemas de segurança, iluminação, climatização, energia, entre outros, com monitoramento e controle do consumo, permitindo a operação de modo eficiente.

No Brasil, estudos vêm sendo realizados com o objetivo de avaliar a possível redução de consumo por meio do retrofit dos sistemas luminotécnicos em diferentes tipologias de edifícios. O estudo de Santos e Grigoletti (2014), obteve uma redução de 46,9% no consumo de energia e taxa de retorno de 3 anos para um edifício público com 507m² em Canoas, RS, além da proposta atingir os níveis de iluminância pela substituição de lâmpadas e aproveitamento de luz natural. Bortolin (2015), alcançou uma redução de 30,48% no consumo de 3 blocos de edificações de uma instituição de ensino superior na Serra Gaúcha, indicando ainda a troca gradual dos equipamentos para reduzir o tempo de payback. O estudo realizado no edifício V2 da UPF, obteve 41,16% de redução no consumo do sistema de iluminação; além de atender aos parâmetros luminotécnicos, a proposta obteve um tempo de retorno entre 6 e 7 anos, considerado viável tendo em vista a vida útil dos equipamentos (MATANA JÚNIOR, MAGRO E FRITSCH, 2019).

Entre os novos fatores a serem considerados nos projetos luminotécnicos, está a exposição à luz azul. Conforme a pesquisa da Agência Nacional para a Segurança da Saúde dos Alimentos, Meio Ambiente e Trabalho na França - ANSES, a exposição à luz intensa é considerada fototóxica, causando danos à retina humana. As lâmpadas que emitem luzes “frias” possuem maior proporção de luz azul, similar à de aparelhos eletrônicos, que afetam o relógio biológico humano pela inibição da produção de melatonina, gerando distúrbios relacionados ao sono e afetando a produção de insulina. Em face desses efeitos, a ANSES recomenda a regulação da exposição a luzes que contenham luz azul intensa, ou seja, luzes de cores quentes devem ser utilizadas e a utilização de luzes frias deve ser restrita a horários e atividades determinados (CILUZ, 2021).

O uso de energia renovável também tem sido adotado no retrofit de edificações. Além de suprir a demanda de energia elétrica de um edifício, os sistemas fotovoltaicos podem ser integrados à arquitetura, seja em coberturas, paredes, *brises-soleil*, marquises, passando a ter dupla função, como geradores de energia e vedação ou elemento de sombreamento. Nesses casos, os custos do sistema podem ser compensados pela redução de componentes de vedação externas e sistemas de fachada em vidro com células fotovoltaicas integradas. A energia eólica pode ser adequada à escala do edifício através de pequenos aerogeradores, com capacidade até 100kW e, quando for possível, a biomassa também pode ser utilizada como alternativa (KIBERT, 2020).

A redução do consumo parte de estratégias passivas aplicadas ao projeto arquitetônico e por estratégias ativas, como equipamentos mais eficientes e a sensibilização dos usuários quanto à economia de energia (BID, 2020). Conceitos como as *Passive Houses* contribuem

nesse sentido ao estabelecer edifícios que mantêm padrões de conforto no interior durante o ano inteiro, aliado ao consumo reduzido de energia (DALBEM et al., 2016). Além disso, a adoção de retrofit de edificações em larga escala, em setores como o residencial, podem transformar os usuários em agentes da mitigação das mudanças climáticas, sendo a complexidade desse processo solucionada por esforços conjuntos entre pesquisa, mercado e governos (MURTO et al., 2019). Portanto, o retrofit de edificações, aliando eficiência energética e energias renováveis, permitirá melhorar as condições internas das edificações para os usuários, a redução da demanda de energia e de emissões, além de trazer benefícios ao meio natural e construído.

2.7. Edificações zero energia

Por serem grandes consumidores de energia, os edifícios comerciais e residenciais impactam os fenômenos relacionados às mudanças climáticas e às emissões de gás carbônico na atmosfera, além de apresentarem alto custo de operação ao longo de sua vida útil (CTE, 2021). A Diretiva Europeia de Performance Energética de Edificações (EPBD) exigiu, a partir de 2010, que os países membros inserissem a temática das metas de edificações *netzero* nas legislações nacionais, atribuindo requisitos mínimos de desempenho para edifícios novos, bem como promovessem a renovação de edifícios existentes. Por exemplo, na Espanha a diretiva estabeleceu metas, como economia de energia em 35% em relação ao edifício modelo e 70% da energia do edifício proveniente de fontes renováveis. (BERARDI et al., 2017). Cabe salientar que quando se refere à energia nesse exemplo, inclui-se a energia utilizada para aquecimento e cocção, considerando, portanto, o consumo de gás e outras fontes, não somente a energia elétrica, visto que 62% do consumo de uma edificação em Barcelona era utilizado para aquecimento.

Nos Estados Unidos, o estado da Califórnia estabeleceu que novas construções residenciais, a partir de 2020, tenham consumo de energia líquido zero e que, a partir de 2030, sejam incluídas as novas construções comerciais, assim como o estado de Massachussets, o qual estabeleceu que todos os edifícios a partir de 2030 tenham essa condição. Desde 2016, o Reino Unido implantou a Política de Carbono Zero, exigindo que novas construções residenciais reduzam as emissões de carbono relacionadas ao consumo de energia, incluindo sistemas de aquecimento como a calefação. Na França, a Lei Grenelle de 2009 estabeleceu que os edifícios até 2020 produzissem mais energia do que consumissem. Na Noruega, a norma de Casas Passivas, a partir de 2015, e os códigos de obras na Suíça, desde 2018, também se alinharam às diretivas europeias no sentido das edificações zero energia (KEELER e VAIDYA,

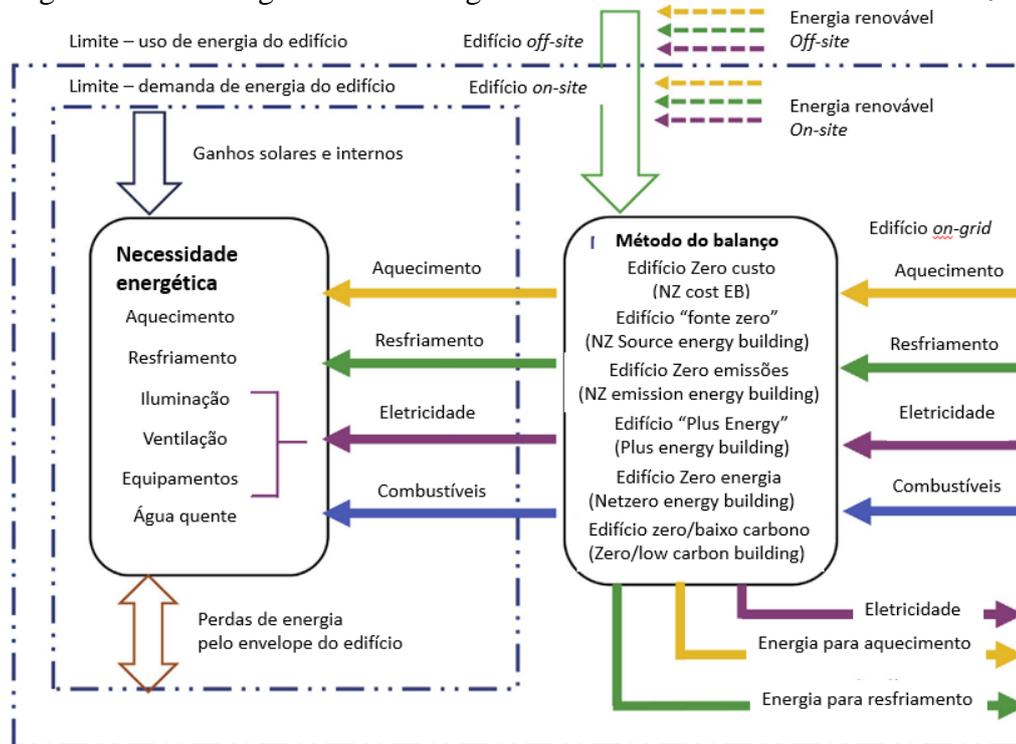
2018). Essas diretivas demonstram o papel das legislações e o comprometimento no atendimento de metas como as estabelecidas pelo ODS 7, ressaltando ainda, que as condições geográficas e o potencial para o aproveitamento de fontes, como a solar fotovoltaica, são reduzidos na Europa quando comparada ao Brasil e outras regiões, os quais podem adotar diretrizes semelhantes.

Normas como a ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (2004), além de estabelecerem requisitos quanto ao desempenho dos elementos construtivos das edificações, também incentivam o uso de sistemas de energia renovável integrados às edificações, induzindo ao processo de implantação dos Edifícios Zero Energia (NETO et al. 2021). Os Edifícios Zero Energia utilizam mais design passivo do que edifícios convencionais através de envoltória eficiente, sistemas de ventilação, controle da iluminação, sombreamento das aberturas e esquadrias de alto desempenho, além de sistemas de climatização centralizados tipo VRF (*Variable Refrigerant Flow*), trocadores de calor, entre outras estratégias diferentes das unidades de climatização típicas (KEELER E VAIDYA, 2018). Estratégias de energia renovável também incluem fachadas e vidros fotovoltaicos, ou BIPV – *Building Integrated Photovoltaics*, ampliando a superfície de geração de energia que, apesar de eficiência menor (3%), podem contribuir com 11% a 21% de um edifício modelo voltado para a orientação norte (DIDONÉ, WAGNER E PEREIRA, 2014).

Entretanto, o conceito de zero energia não se resume à fase de operação de edifícios, gerando novos conceitos associados a esse tema. Diversas terminologias relacionam-se à temática de edifícios zero energia, tais como edifícios autossuficientes, zero carbono, híbridos ou com zero emissões, causando ambiguidade em relação às metodologias (LIU et al., 2019). Neste trabalho, será abordado o conceito de edifícios autossuficientes em energia elétrica com geração renovável *in loco*, conforme a certificação do GBC Brasil. Conforme o Centro de Tecnologia de Edificações (CTE), os edifícios *Netzero* dividem-se em dois subgrupos: *Netzero Site Energy*, que se refere às edificações autossuficientes e *Netzero Source Energy*, nesse último grupo estão as construções que não conseguem gerar a totalidade do consumo próprio, mas que cobrem esse déficit com a aquisição de energia de fontes renováveis externas. Um passo além desse conceito, são os edifícios de energia positiva, os quais criam um excedente de energia nova que pode ser devolvida para a própria rede elétrica ou vendida para os serviços públicos de energia (CTE, 2021). Para a INI-C (INMETRO, 2021), a edificação com eficiência energética e geração renovável *in loco* superior à demanda é considerada uma Edificação de Energia Positiva – EEP, enquanto a edificação com eficiência energética que gere energia renovável *in loco* suprimindo 50% ou mais de sua demanda é considerada uma Edificação de

Energia Quase Zero – NZEB (INMETRO, 2021). A inserção desses conceitos deve-se também ao incentivo à temática de autossuficiência através das certificações. A Figura 17 apresenta a relação entre os diferentes conceitos de *netzero* e o sistemas das edificações.

Figura 17 – Estratégias e terminologias conforme o conceito de edifício *netzero*



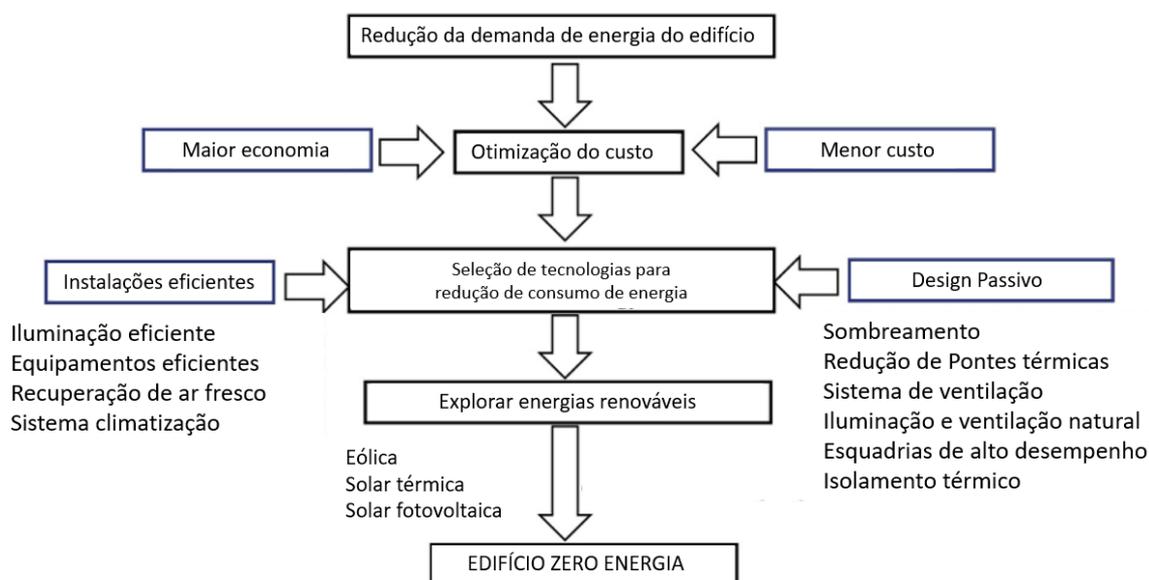
Fonte: Liu *et al.* (2019), adaptado pelo autor.

Conforme Liu *et al.* (2019), os requisitos para uma edificação zero energia são: reduzir de maneira significativa o consumo durante a fase de operação; atingir um equilíbrio energético baseado em fontes sem emissões de gases do efeito estufa, além do edifício não emitir esses gases; e, por fim, ser economicamente viável. Entre os desafios para a implantação das edificações zero energia estão: as questões técnicas, como a geração de energia em dias frios, nublados ou sem ventos; às referente a fontes, tais como a eólica e fotovoltaica; as questões financeiras, relativas ao custo-benefício para melhorar a eficiência energética e gerar energia limpa com o menor investimento e, uma melhor taxa de retorno; além das questões políticas, referentes a regulações, impostos e incentivos (DOWDS E YOU, 2019).

Para Albadry, Tarabieh e Sewilam (2017), a economia financeira gerada pela redução do consumo é um aspecto que estimula a busca por fontes alternativas de energia e estratégias de eficiência energética. Conforme Keeler e Vaidya (2018), é mais viável investir mais em estratégias de eficiência para reduzir ao máximo de consumo, atingindo o potencial máximo dessas estratégias, do que apenas investir na geração de energia renovável. Uma abordagem integrada nesse sentido pode reduzir custos iniciais elevados para o uso de tecnologias

eficientes, sendo assim, edifícios zero energia reduzem o consumo de maneira significativa e, portanto, diminuem a capacidade dos sistemas, como o de climatização, por exemplo. A Figura 18 apresenta o fluxograma referente à concepção de um edifício zero energia.

Figura 18 – Fluxograma conceitual de uma edificação zero energia



Fonte: Liu *et al.* (2019), adaptado pelo autor.

Dessa forma, a renovação de uma edificação sob a estratégia *netzero* ou de autossuficiência constitui uma abordagem holística, considerando o ciclo de vida do edifício, bem como o impacto ambiental, além da incorporação da energia renovável, enquanto o retrofit possui uma abordagem focada na redução do consumo de energia (D'AGOSTINO, CUNIBERTI E MASCHIO, 2017). Do mesmo modo, a avaliação do ciclo de vida também é uma abordagem holística, permitindo avaliar o impacto ambiental de um edifício, material ou sistema, desde a extração até a reciclagem, descarte ou reuso, compreendendo ainda os processos de manufatura, transporte, limpeza e manutenção (KEELER E VAIDYA, 2018).

No Brasil, algumas edificações já receberam a certificação GBC Brasil *Zero Energy*, portanto, são edificações autossuficientes em energia. O escritório da Petinelli, com Sede em Curitiba-PR, foi o primeiro empreendimento a receber a certificação *Zero Energy* no mundo e no Brasil, além de ser também o primeiro a receber a certificação LEED Platinum no país, sendo que a empresa também possui sedes em Balneário Camboriú e Porto Alegre com a mesma certificação, a mais alta do LEED. A Sede em Curitiba é constituída por um barracão industrial de 400 m² reestruturado, com financiamento da Fomento Paraná, e o empreendimento terá *payback* de menos de 5 anos, com fluxo de caixa positivo desde o primeiro dia (GBC Brasil, 2019a).

O conceito utilizado alia eficiência energética e autossuficiência, de modo que quanto maior a eficiência e menor o consumo, menor também será a necessidade de gerar energia, reduzindo custos, além de utilizar o edifício como laboratório vivo para a empresa, a qual trabalha com consultorias na área de energia. O isolamento do telhado reduziu a carga térmica e, conseqüentemente, a menor utilização do sistema de climatização. As esquadrias com bandejas de luz controlam o ofuscamento e refletem parte da iluminação natural, enquanto parte é difundida para os ambientes internos. A iluminação artificial do tipo indireta utiliza luminárias direcionadas para o forro de cor branca, que distribui a luz de maneira difusa, com sensores de luminosidade que ajustam a potência das luminárias, juntamente com persianas automatizadas, criando um ambiente visualmente confortável e reduzindo o consumo (GBC Brasil, 2019a).

A Sede também conta com um sistema fotovoltaico de 15kW de potência, produzindo energia excedente ao consumido pelo escritório. Os equipamentos de climatização são do tipo VRF, com maior eficiência e integrado ao sistema de automação, com sensores de presença e de CO₂. A empresa também selecionou equipamentos de trabalho com menor consumo, como notebooks ao invés de desktops e monitores em LED, além do servidor em nuvem, que conecta os três escritórios da empresa (GBC Brasil, 2019a).

Outro exemplo é o Centro Sebrae de Sustentabilidade (CSS) em Cuiabá-MT, combinando estratégias de eficiência energética como: máximo aproveitamento da iluminação natural, a cobertura com geometria que permite o resfriamento interno da edificação, *brises-soleil* para controle de iluminação natural, luminárias solares para direcionar a iluminação para o interior através de espelhos, além do paisagismo, o qual utiliza espécies nativas dos biomas do Mato Grosso e duas micro usinas de energia solar fotovoltaica com capacidade de 45 kW e 75 kW, respectivamente, geram energia para o centro e a sede do Sebrae MT. O objetivo do CSS é abordar a sustentabilidade junto a pequenas empresas e empreendedores, tendo em vista o desenvolvimento sustentável, introduzindo o conceito de economia de transição, aliando resultados econômicos e objetivos culturais, sociais e ambientais. O CSS já obteve, além da Certificação GBC Brasil zero energy em 2017, o Selo PROCEL Edifica Nível A em 2013, a Certificação BREEAM *In-use*, com classificação excelente, considerado o prédio mais sustentável da América Latina em 2016, entre outras premiações, sendo selecionado também pela Rede Brasil do Pacto Global como *case* de sucesso no Brasil em relação aos ODS da Agenda 2030 (SEBRAE, 2020).

Outro estudo de caso de edifícios autossuficientes é o Campus da Universidade do Vale do Itajaí, em Biguaçu-SC, o primeiro campus no Brasil com 100% de sua energia gerada no local. Desde 2018, uma usina fotovoltaica com 596 painéis distribuídos em 1.000 m² e potência

de 157 kW produz até 196MWh por ano, juntamente com o retrofit do sistema de iluminação, substituindo 1.400 lâmpadas fluorescentes por LED, a troca de 81 equipamentos de ar condicionado e a instalação de mais 133 unidades com sistema inverter, permitindo que o coeficiente de performance aumentasse de 2,5 para 3,3. O mesmo projeto ainda abrange os Campus em Itajaí e Balneário Piçarras, também com a substituição de lâmpadas, reduzindo o consumo em 57%. O financiamento do projeto foi realizado pelas Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC), através do seu Programa de Eficiência Energética (UNIVALI, 2018).

Entre as edificações educacionais, a creche Hassis em Florianópolis-SC com 1.182m² é a primeira dessa tipologia a receber uma certificação LEED em nível Platinum. Inicialmente o projeto não foi concebido visando à certificação, contudo, simulações durante a elaboração do projeto demonstraram que a certificação era viável, então foram adotadas estratégias que permitissem atingir os altos requisitos da certificação Platinum (ARCHDAILY, 2019). O sistema de aquecimento de água composto por coletores solares e reservatório térmico abastece chuveiros cozinha e lavanderia. Além dessa estratégia, o aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis, como irrigação e descargas de bacias sanitárias, também auxilia na redução do consumo (FLORIANÓPOLIS, 2015).

Dentre as edificações de uso industrial e logístico, um dos estudos de caso é a Unidade Alexandre Biagi, um centro de distribuição da Uberlândia Refrescos, certificado como *Zero energy* e LEED Platinum. O sistema fotovoltaico é constituído por 840 módulos, totalizando 222,6 kWp, gerando 100% da energia consumida para operação. Também há o uso de domus prismáticos no telhado para aproveitamento da iluminação natural. Além disso, o edifício busca o consumo eficiente de água com a captação de águas pluviais e sistema de tratamento de efluentes no local. Ainda, foram utilizadas louças e metais sanitários eficientes visando à redução do consumo de água (UBERLÂNDIA REFRESCOS, 2019).

A indústria Camisas Polo Salvador é outro exemplo de edificação que combina alta eficiência energética e fontes de energia renovável. Com um sistema fotovoltaico de 104 placas, a indústria gerou 108% do consumo durante 12 meses. Nesse estudo de caso, a atuação da gestão pública foi um fator favorável para a implantação, visto que a prefeitura oferece descontos de IPTU (Imposto sobre a propriedade predial e territorial urbana) na ordem de 5% a 10% para edificações que utilizem estratégias de sustentabilidade, sendo que o IPTU verde de Salvador estabelece uma certificação própria, correlacionado as certificações LEED, EDGE, AQUA, PROCEL e GBC Brasil Zero Energy. Também há o programa IPTU amarelo, que visa incentivar a implantação de sistemas fotovoltaicos em residências (GBC, 2019b).

Comunidades com consumo de energia zero podem trazer uma abordagem que vai além da redução de energia pelos edifícios, induzindo um comportamento ou estilo de vida mais responsivo e com menos emissões, considerando a infraestrutura, indústria e transportes, além de que os edifícios passam a compensar o desequilíbrio energético em relação a edificações que ainda não são zero energia (KEELER E VAIDYA, 2018). Nesse sentido, as ações implantadas por universidades podem repercutir na iniciativa pública e privada, em especial nas grandes edificações, como indústrias, escolas, hotéis, shopping centers e edifícios da administração pública e, também, nos edifícios residenciais, estabelecendo um cenário positivo quanto ao atendimento da demanda de energia, aliados aos benefícios para os ambientes internos e para os usuários.

2.8. Avaliação do retorno financeiro de projetos

A análise de custo-benefício tem por objetivo subsidiar a tomada de decisão dos investimentos em energias renováveis e melhoria da eficiência energética. Estão entre as abordagens a serem utilizadas: o valor presente líquido; a relação custo-benefício; a taxa interna de retorno e o saldo do fluxo de caixa (DOWDS E YOU, 2019). A utilização de técnicas de análise pode tornar decisões subjetivas ou até mesmo complexas em decisões mais robustas, desde que conhecidas as limitações de cada técnica, o custo de oportunidade e a relação entre os valores monetários e o tempo (PARENTE, 2017).

O fluxo de caixa representa graficamente as despesas e receitas geradas em um investimento, sendo o eixo horizontal o período de tempo, em meses ou anos e, o eixo vertical, as despesas. Também pode ser representado por tabelas com número entre parênteses (valores negativos), quando as receitas ainda não recuperaram investimento (BARROS, BORELLI E GEDRA, 2015). A figura 19 apresenta uma forma de representação do fluxo de caixa:

Figura 19 – Diagrama do fluxo de caixa

Meses	Capitais
0	(R\$ 10.000,00)
1	R\$ 2.000,00
2	R\$ 2.000,00
3	R\$ 2.000,00
4	R\$ 2.000,00
5	R\$ 2.000,00

Fonte: Barros, Borelli e Gedra (2015).

O tempo para que o capital investido seja recuperado pelo fluxo de caixa é conhecido como *payback*. Esse método enfatiza o tempo de retorno, sendo um dos mais utilizados para avaliação de projetos, entretanto, não foca no lucro das alternativas escolhidas (IUDÍCIBUS, 2020). O método do *payback* simples desconsidera a aplicação de juros e é utilizado para avaliar o tempo de retorno de maneira simplificada, verificando o tempo máximo tolerado pelo investidor, sendo que o saldo do projeto é apresentado em valores negativos até que ocorra o *payback*, quando isso não ocorre, o investimento não terá retorno, ou seja, não recuperará o investimento em um tempo tolerável (BARROS, BORELLI E GEDRA, 2015).

O *payback* é medido em tempo, correspondendo à recuperação do investimento, a denominação “simples” refere-se ao fato de não considerar a variação monetária no tempo, mas é um método que auxilia na redução de riscos e identificação de projetos que superem o tempo de retorno estipulado ou identificar qual dos projetos tem menor tempo de retorno, sendo uma técnica mais recomendada para descarte de projetos de risco do que propriamente uma análise de retorno financeiro (PARENTE, 2017). A Tabela 1 apresenta a representação do *payback* simples.

Tabela 1 – *Payback simples*

Anos	Capitais	Saldo do projeto
0	-R\$ 2.500,00	-R\$ 2.500,00
1	R\$ 800,00	-R\$ 1.700,00
2	R\$ 750,00	-R\$ 950,00
3	R\$ 980,00	R\$ 30,00
4	R\$ 650,00	R\$ 680,00
5	R\$ 1.050,00	R\$ 1.730,00

Fonte: Barros, Borelli e Gedra (2015).

O *payback* descontado considera taxas de juros junto ao fluxo de caixa, como a desvalorização de uma moeda, alterando o tempo de retorno do investimento (BARROS, BORELLI E GEDRA, 2015). A Tabela 2 apresenta a representação do *payback* descontado.

Tabela 2 – *Payback descontado*

Anos	Capitais	Capital descontado	Saldo do projeto
0	-R\$ 2.500,00	-R\$ 2.500,00	-R\$ 2.500,00
1	R\$ 800,00	R\$ 727,27	-R\$ 1.772,73
2	R\$ 750,00	R\$ 619,83	-R\$ 1.152,89
3	R\$ 980,00	R\$ 736,29	-R\$ 416,60
4	R\$ 650,00	R\$ 443,96	R\$ 27,35
5	R\$ 1.050,00	R\$ 651,97	R\$ 679,32

Fonte: Barros, Borelli e Gedra (2015).

O valor presente líquido – VPL é a diferença entre o valor presente das entradas no caixa e o valor presente de saídas de caixa ao longo de um período determinado (DOWDS e YOU, 2019). O valor líquido representa um valor extra proporcionado pelo projeto após recuperar o investimento inicial, sendo viável quando a soma dos fluxos de caixa for maior do que o investimento (BARROS, BORELLI E GEDRA, 2015). Esse método utiliza uma taxa de desconto, que representa o custo de oportunidade do capital investido, ajustando o fluxo de caixa, apresentado o equivalente em valor presente, sendo que a subtração do investimento inicial dos fluxos de caixa líquidos irá gerar um valor residual, o VPL, a diferença entre os fluxos de caixa líquidos equivalentes ao período inicial (PARENTE, 2017). Essa taxa de desconto pode ser a taxa mínima de atratividade (TMA), a qual representa o ganho mínimo a que o investidor está disposto, sendo atrelada à liquidez e aos riscos de cada projeto (MASAKAZU, 2019). Se o valor de VPL for positivo, o investimento é viável. O VPL igual a zero indica que o investimento atingirá o retorno mínimo exigido, enquanto o VPL menor que zero indica que o retorno não atingirá a taxa mínima, devendo ser descartado (PARENTE, 2017). A Equação 1 apresenta o cálculo do VPL.

$$\text{Equação 1 – Valor presente líquido} \\ VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC}{(1+i)^t}$$

Onde:

VPL = Valor presente líquido

Fc = Fluxo de Caixa do instante inicial t

i = Taxa de desconto ou da Taxa mínima de atratividade

Fonte: Silva e Alves (2018).

A taxa interna de retorno – TIR (*Internal rate of return – IRR*) iguala a zero as entradas e saídas atualizadas em um investimento (SILVA, 2018). A taxa de juros utilizada zera o valor presente líquido, desse modo, a taxa mínima do VPL deve ser menor que a TIR, sendo calculado a partir da fórmula do VPL, com a TIR representando um VPL zero (BARROS, BORELLI E GEDRA, 2015). Se a TIR for superior ao custo de capital, o projeto seria aprovado pela taxa de retorno maior que o custo inicial, caso o valor seja igual, significa que o investimento trará o retorno igual ao capital investido, tornando o investimento viável apenas nesses dois cenários (PARENTE, 2017). De modo simplificado, a TIR superior à TMA (taxa mínima de atratividade indica um rendimento maior ao esperado para o investimento (MASAKAZU, 2019). Essas avaliações são iniciadas com base no fluxo de caixa, dispondo entradas e saídas no projeto ao longo do tempo, com presença da TMA na TIR, como comparação no final da avaliação, no

VPL e *payback* descontado como a taxa de desconto. No *payback* simples, o parâmetro de comparação é o menor prazo (PARENTE, 2017), já a taxa mínima de atratividade representa questões subjetivas como o custo de oportunidade, referente às diferentes alternativas; a liquidez, relativa à facilidade para mudança de estratégia; o risco envolvido, sendo que os riscos maiores podem ter retornos maiores (SILVA E ALVES, 2018). A Equação 2 apresenta o cálculo da TIR.

$$\text{Equação 2 – Taxa interna de retorno}$$

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC}{(1+i)^t} = 0 = \sum_{t=0}^n \frac{FC}{(1+TIR)^t}$$

Onde:

VPL = Valor presente líquido

TIR = Taxa interna de retorno

Fc = Fluxo de Caixa do instante inicial t

i = Taxa de desconto ou da Taxa mínima de atratividade

Fonte: Silva e Alves (2018).

Por fim, a seleção de projetos pode ocorrer por projetos independentes, ou seja, o aceite de uma das alternativas não depende da rejeição das demais; ou projetos mutuamente excludentes, em que o aceite de uma proposta determina a exclusão das demais (BRUNI e FAMÁ, 2017). Outros fatores também devem ser considerados, por exemplo, preços menores nos painéis fotovoltaicos podem aumentar a atratividade desses sistemas, entretanto, para consumidores com subsídios tarifários, como áreas rurais ou baixa renda, a atratividade é menor (IPEA, 2018b).

2.9. Síntese da revisão

A revisão bibliográfica estabeleceu a base teórica para o desenvolvimento do estudo. O contexto global de consumo de eletricidade, das matrizes energéticas e da energia fotovoltaica demonstrou a contribuição da temática de NZEB para a mitigação das mudanças climáticas e metas das Agenda 2030, em escala mundial, nacional e regional. As ações de eficiência energética em diferentes setores e os estudos de casos de edifícios autossuficientes forneceram diferentes estratégias aplicáveis ao edifício L1. Por fim, os métodos de análise de investimentos apresentados contribuíram para a execução da avaliação econômica, fundamental para a materialização dos cenários propostos.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentadas as metodologias e etapas utilizadas nesta pesquisa, bem como sua classificação.

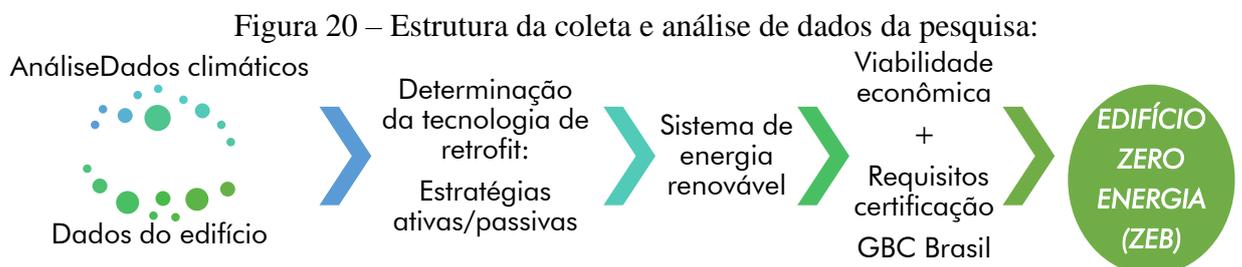
3.1. Classificação da pesquisa

A pesquisa foi classificada quanto à natureza, abordagem, objetivos e procedimentos, conforme Lozada e Nunes (2018). Quanto à natureza, a pesquisa foi classificada como aplicada por buscar solucionar as necessidades concretas e imediatas, dentro da área profissional do pesquisador. Quanto à abordagem dos dados, a pesquisa é quali quantitativa ou mista, com dados qualitativos e quantitativos analisados de modo integrado, visto que apenas uma das abordagens não é suficiente para analisar o contexto como um todo, uma vez que as ações de eficiência energética podem produzir resultados na qualidade de uso dos espaços, ao mesmo passo que sugerir tais ações sem analisar o potencial de redução de energia e a viabilidade técnico-econômica não contribuiria para a tomada de decisão.

Quanto aos objetivos, a pesquisa é classificada como exploratória, por aprofundar um tema de estudos recentes, inserindo uma nova abordagem dentro dos projetos de pesquisa relacionados à eficiência energética na UPF. A pesquisa também é explicativa, uma vez que tem como objetivo identificar potenciais de geração de energia, de redução de consumo, bem como as possíveis melhorias da qualidade dos ambientes para os usuários (MASCARENHAS, 2018).

Quanto aos procedimentos, de acordo com Mascarenhas (2018), a pesquisa é classificada como estudo de caso, descrevendo detalhadamente o objeto de estudo e analisando-o em relação ao contexto em que estará inserido. Entretanto, pela escala reduzida e características do edifício, o resultado não poderá ser generalizado, pois diferentes edificações possuem orientação solar, características construtivas, usos, equipamentos, entre outros elementos distintos entre si. Mesmo entre edificações utilizadas para o ensino superior, edifícios com laboratórios e salas de aula em diferentes proporções apresentarão perfis de uso e consumo diferentes. Além disso, conforme Collado et al. (2019), comparações numéricas entre desempenho de NZEBs não são possíveis sem que estejam determinados os métodos para alcançar o equilíbrio energético de cada edifício.

Desse modo, o estudo pretende fornecer uma estrutura de avaliação técnica e econômica para a implantação de ações de eficiência energética e de energia renovável que possam ser replicadas para outras edificações do campus da UPF e, também, para outras tipologias de edifícios, como indústrias, edifícios comerciais, escolas, entre outros grandes consumidores. A estrutura metodológica proposta para a coleta de dados e análises adaptou a diretriz proposta por Albadry, Tarabieh e Sewilam (2017), inserindo na análise estratégias ativas de retrofit e os requisitos para certificação, conforme Figura 20. Essa estrutura deverá ser adaptada quando aplicada à edificações novas, o consumo e a eficiência energética deverão ser simulados para o pré-dimensionamento dos sistemas de energia renovável.



Fonte: Albadry, Tarabieh e Sewilam (2017), adaptado pelo autor.

3.2. Caracterização da área de estudo

A caracterização da edificação adaptou a metodologia utilizada na pesquisa Análise e Diagnóstico de Ecoeficiência na Universidade de Passo Fundo (FRANDOLOSO, 2020), que tem como referência as Auditorias Energéticas da *Universitat Politècnica da Catalunya – UPC*, combinando informações de dados estáticos, como as características do edifício, sistemas e espaço interno e dados dinâmicos, tal como o consumo de energia, comportamento dos usuários e variáveis ambientais, inserindo a geração de energia limpa, conforme figura 21.

Figura 21 – Metodologia para caracterização da edificação

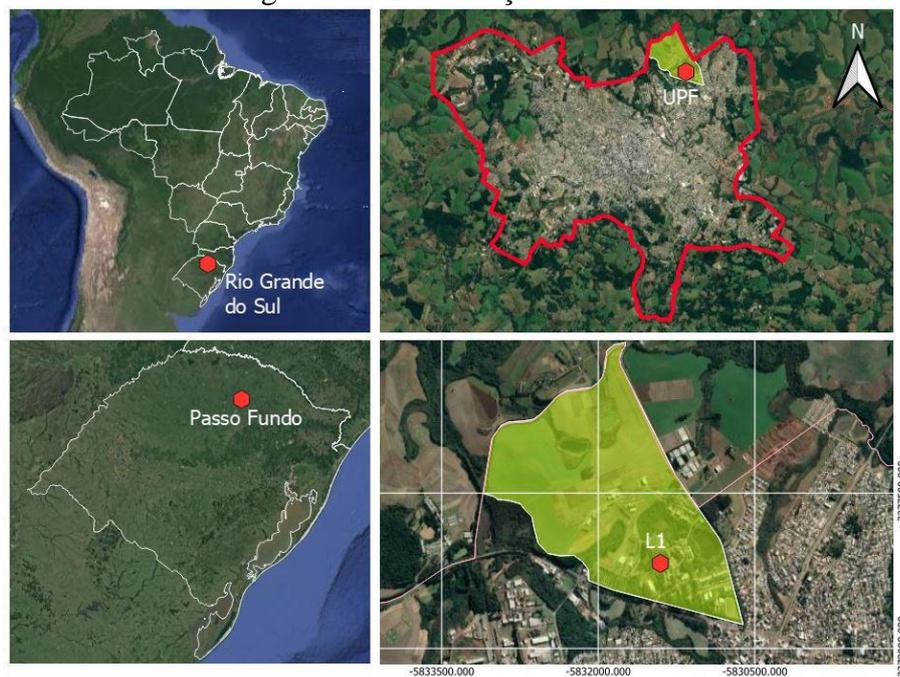


Fonte: Frandoloso (2020), adaptado pelo autor.

A área de estudo está localizada em Passo Fundo, uma cidade de médio porte, com população estimada de 206.103 habitantes, no norte do Rio Grande do Sul (IBGE, 2021). A cidade está localizada a 28°15' S, 52°24" O, a 687 metros de altitude, inserida na Zona Climática Fundamental temperada (C), com clima fundamental úmido (f), variedade subtropical (Cfa), segundo a classificação Köppen (EMBRAPA, 2001). As chuvas são distribuídas ao longo do ano, sendo março, julho, agosto e novembro os meses menos chuvosos, e outubro como o mês mais chuvoso (PASSO FUNDO, 2019). O campus I da UPF está situado ao norte do município, no Bairro São José, com acesso via BR 285 e a área construída é de 234.303,60m², sendo 169.074,46m² de área cobertas e 65.230,14m² de áreas descobertas (DANELI, 2019).

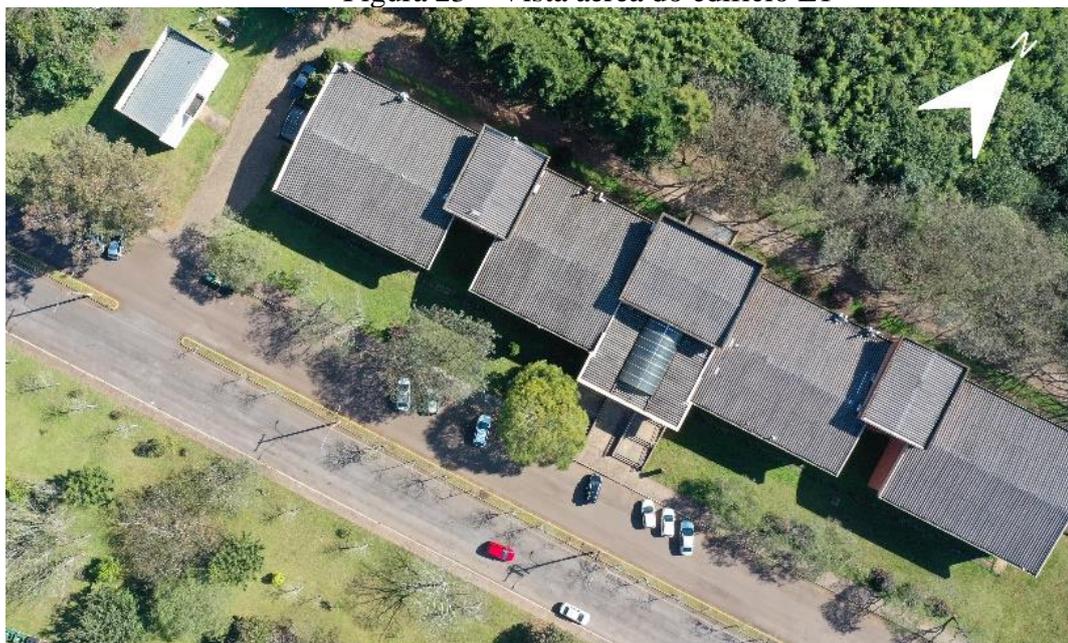
O objeto de estudo é o edifício L1, utilizado pelos cursos de graduação em Engenharia de Alimentos, Engenharia Química, pelo Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - PPGCTA, abrigando também o CEPA – Centro de Pesquisa em Alimentos. O edifício foi escolhido para o estudo devido ao fato de ser o primeiro a receber placas solares fotovoltaicas em sua própria estrutura, que serão utilizadas para alimentar equipamentos de ultrafiltração de águas pluviais do laboratório de operações unitárias, através do projeto de pesquisa *Drinking Water From Rain: a Standalone Green Energy Powered Rainwater Purification System*. Por utilizar energia renovável em sua própria estrutura para autoconsumo, surge a possibilidade de ser convertido em um edifício autossuficiente em energia. A Figura 22 apresenta a localização da área de estudo na malha urbana de Passo Fundo e a Figura 23 apresenta imagem aérea do edifício e seu entorno.

Figura 22 – Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 23 – Vista aérea do edifício L1



Fonte: DALLA ROSA (2019), adaptado pelo autor.

Com 3.842,92m² de área construída, o edifício é composto por 2 pavimentos e foi concluído no ano de 2000. O restante da caracterização do edifício será apresentado na seção de resultados, detalhando os aspectos que serão analisados neste trabalho.

3.3. Determinação de demanda e consumo de energia elétrica

Foram coletados dados referentes aos sistemas de iluminação e climatização para posterior estimativa de redução de consumo. O consumo de eletricidade foi disponibilizado pelo setor de sistemas elétricos da UPF, que coleta dados mensalmente, através de medidor de subestação próxima ao edifício L1. O consumo de gás liquefeito foi fornecido pela secretaria do CEPA, sendo convertido em kWh para estimar a compra de créditos de energia como compensação. Como limitação da pesquisa, o consumo do prédio foi reduzido em relação à demanda usual devido às restrições de ocupação decorrentes da pandemia de Covid-19, que seguiram até a conclusão desta pesquisa, com retomada gradual da presencialidade no final de 2021, porém, mesmo com a retomada, o prédio não ainda está sendo ocupado em sua totalidade.

Os indicadores de ecoeficiência contribuem para a avaliação nas metas de redução e melhoria do desempenho dos sistemas que utilizam energia elétrica (NETO et al. 2021). Após a coleta de dados, foram estabelecidos indicadores de ecoeficiência conforme Frandoloso (2018): Consumo em kWh/Ano; Relação entre consumo e superfície construída em kWh/m² e, relação entre consumo e ocupação em kWh/per capita. A relação W/m² também é definida como

Densidade de Carga Interna – DCI, considerando todos os sistemas e, quando a relação W/m^2 considera apenas o sistema de iluminação, a relação é conhecida como Densidade de Potência de Iluminação – DPI e a Densidade de Potência de Iluminação Limite – DPI_L é referente à iluminância necessária no plano de trabalho, indicando qual é a densidade eficiente para o ambiente (PBE EDIFICA, 2013). Com relação à determinação da demanda, para escolas e semelhantes, o GED-13 (CPFL, 2020) recomenda a carga mínima de $30 W/m^2$.

3.4. Medição dos níveis de iluminação natural e artificial *in loco*

Um dos parâmetros luminotécnicos avaliados para definir a qualidade dos sistemas de iluminação é a iluminância (E), que é a luz incidente, não visível, distribuída nos ambientes. Conforme Innes (2014), esse parâmetro pode ser compreendido como a luminosidade irradiada da lâmpada em relação às superfícies, representado a quantidade de luz que efetivamente incide sobre uma superfície, sua unidade de medição é o lux (lx). A iluminância foi aferida *in loco* com luxímetro digital Hikari, modelo HLX-881, com faixa de medição de até 50.000 lux.

A Norma de Higiene Ocupacional nº 11 – NHO11 (FUNDACENTRO, 2018), foi o referencial para os níveis de iluminância. Em 2013, havia sido implantada a ABNT NBR ISO/CIE 8995: Iluminação dos ambientes de trabalho - Parte 1: Interior (ABNT, 2013), em substituição à ABNT NBR 5413 – Iluminância de Interiores (ABNT, 1992), porém, o Ministério do Trabalho definiu a Norma Regulamentadora nº 17 (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2018), no item 17.5.3.3, que os níveis de iluminância deveriam utilizar os valores da NBR 5413, substituída 5 anos antes. A fim de solucionar a questão, o Ministério do Trabalho estabeleceu, a partir de outubro de 2018, que os níveis de referência seriam os estabelecidos na NHO 11, o qual utiliza os mesmos valores da NBR ISO/CIE 8995. As salas de aulas noturnas e laboratórios devem ter 500 lux em média, enquanto sanitários podem ter 200 lux para iluminação geral, para áreas de circulação 100 lux e os demais ambientes devem considerar 300 lux. O critério utilizado para a avaliação luminotécnica é a medição em diferentes pontos e áreas de tarefa e posterior comparação com os valores mínimos, com tolerância de 10% abaixo do valor estabelecido (FUNDACENTRO, 2018).

O número de pontos para a medição de iluminação natural foi definido conforme a Norma ABNT NBR 15215-5 - Iluminação natural Parte 4 (ABNT, 2005). A determinação da quantidade de pontos foi obtida pelo cálculo do índice do recinto, conforme Equação 3.

$$\text{Equação 3 – Índice do Recinto}$$

$$K = \frac{C \times L}{H_m \times (C + L)}$$

Onde:

K= Índice do recinto

C= Comprimento do compartimento

L= Largura do compartimento

H_m= Altura entre o plano de trabalho e verga da janela

Fonte: ABNT (2005).

O ambiente foi dividido em áreas retangulares iguais, com os pontos afastados no mínimo 50cm em relação às paredes. Após a determinação do índice de recinto, o número de pontos de medição foi definido, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Número de pontos para verificação de iluminação natural

K	Nº de pontos
K < 1	9
1 ≤ K < 2	16
2 ≤ K < 3	25
K ≥ 3	36

Fonte: ABNT (2005).

Os valores de iluminância considerados foram os mesmos da NHO11 a fim de manter a uniformidade visual e, por se tratar de uma normativa mais recente, sendo aferidos os ambientes de maior permanência dos usuários, como salas de aula e laboratórios. Foram realizadas medições nas quatro estações, às 15h, sendo que as medições de inverno e verão foram feitas em datas próximas aos solstícios.

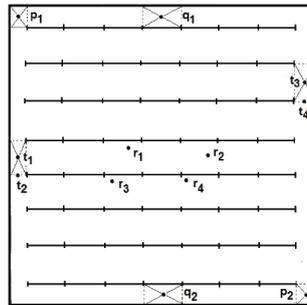
O sistema de iluminação artificial foi identificado *in loco*, com dados coletados referentes à quantidade de luminárias, lâmpadas, ausência/presença de reatores, bem como a sua distribuição nos ambientes, com as medições realizadas à noite para evitar a influência da iluminação natural nos resultados. A temperatura de cor é outra grandeza identificada no levantamento. A temperatura de cor representa a aparência pela luz, medida em Kelvin (K), sendo que cada cor possui uma frequência e temperatura específicas, quanto maior a temperatura de cor, mais clara é a tonalidade percebida (GEBRAN E RIZZATO, 2017). Lâmpadas com temperaturas de cor diferentes alteram a percepção de cores, sendo recomendado padronizar a temperatura de cor em um ambiente (KIBERT, 2020).

A eficiência luminosa indica o rendimento de uma fonte luminosa, ou seja, a conversão de energia em luz visível, medida em lúmen/W (GEBRAN E RIZZATO, 2017), sendo assim, um indicador para a seleção dos equipamentos mais eficientes. Conforme Kibert (2020), lâmpadas fluorescentes têm eficiência variando entre 80 e 93 lm/W e lâmpadas de LED alcançam valores de eficiência até 200 lm/W. Nesse sentido, e eficiência luminosa deve ser avaliada para a seleção dos equipamentos para o retrofit do sistema de iluminação, propiciando

eficiência e iluminação melhores, com menor consumo. O IRC ou índice de reprodução de cores é uma medida entre a cor real e a aparência de cor de um objeto, pela forma como é percebido quando exposto a luz. Quanto maior o IRC, melhor a reprodução de cores (GEBRAN E RIZZATO, 2017). Uma lâmpada com IRC 100 reproduz melhor as faixas de cor em relação a uma lâmpada IRC 50, que prejudicará a percepção das cores (KIBERT, 2020). O IRC aceitável para salas de aulas noturnas e laboratórios é de 80 (FUNDACENTRO, 2018).

A iluminância média foi verificada sobre o plano horizontal, posicionada na altura do plano de trabalho, para ambientes de trabalhos retangulares, com iluminação simetricamente espaçada em duas fileiras. Foram aferidos dezoito pontos de medição (r1 a r8; q1 a q4; t1 a t4; p1 e p2) foram aferidos, sendo calculadas as médias aritméticas de cada conjunto de medições. A Figura 24 indica os pontos de medição e a iluminância foi determinada pela Equação 4.

Figura 24 – Pontos de medição de iluminância



Fonte: Fundacentro (2018).

Equação 4 - Iluminância média do ambiente de trabalho

$$I = \frac{R(N - 1)(M - 1) + Q(N - 1) + T(M - 1) + P}{NM}$$

Onde:

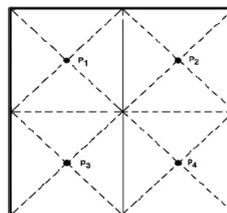
N= quantidade de luminárias por fila

M= número de filas

Fonte: Fundacentro (2018).

Quando o ambiente de trabalho possuía forma retangular com apenas uma luminária central, foram efetuadas medições nos pontos p1 a p4, dividindo o ambiente em 4 áreas, calculando a média aritmética dos quatro pontos, conforme figura 25.

Figura 25 - Pontos de medição de iluminância em ambiente com uma luminária



Fonte: Fundacentro (2018).

3.5. Desempenho térmico do fechamento vertical (opaco e transparente)

Como objetivo do trabalho segue a certificação GBC Brasil zero energy, caso seja atendida a condição de autossuficiência em energia e o edifício esteja conectado à rede (*On-grid*), as análises de envoltória serão dispensadas para a obtenção da certificação. Neste trabalho, foram realizadas medições termográficas infravermelhas como auxílio na definição de estratégias de conforto ambiental, como dispositivos de sombreamento, através da identificação da carga térmica incidente na envoltória do edifício. As medições foram realizadas com Termovisor Testo, modelo 881-1, fornecido pelo curso de Arquitetura da UPF.

Foram selecionados dois laboratórios com orientação solar distinta e uma sala de aula e também as quatro fachadas do edifício. A medição de outono foi realizada em 19 de maio, em condições de céu limpo; a medição de inverno em 23 de junho (solstício de inverno), em condições de céu nublado; a medição de primavera em 16 de setembro, em condições de céu nublado; pôr fim a medição de verão em 23 de dezembro (solstício de verão), em condições de céu limpo. Todas as medições foram realizadas às 15h devido a maior incidência de radiação solar. Após a coleta de dados, as imagens foram tratadas no software testo IRSof (TESTO, 2021). Cabe salientar que para projetos de novas edificações, as condições de conforto devem ser simuladas por meio de softwares específicos, permitindo a definição das características construtivas tendo em vista a maximização da eficiência energética antes da execução da obra.

3.6. Medição e estimativa de geração de energia fotovoltaica

O sistema fotovoltaico do edifício começou a operar em fevereiro de 2021, com 3,6 kWp de potência, sendo ampliado para 6,76 kWp em julho de 2021 e os dados foram coletados mensalmente, durante um ano, para caracterizar o potencial de energia renovável gerada no local. Além das medições *in loco* para verificar a capacidade de geração dos módulos fotovoltaicos, neste estudo também foi realizado o cálculo da geração projetada a partir das médias de radiação solar para o município, de modo a comparar o potencial de geração de energia que o sistema possui e a quantidade efetivamente gerada.

O aplicativo para smartphone Fusion Home forneceu dados diários, mensais e anuais referentes à geração de energia fotovoltaica, sendo acessado via leitura de *QR Code*, conectado à rede de *wi-fi* junto ao inversor. A figura 26 demonstra os dados gerados pelo aplicativo.

Figura 26 – Telas do aplicativo Fusion Home



Fonte: Aplicativo Fusion Home.

A energia máxima teórica foi estimada a partir dos dados de irradiação solar de Passo Fundo, fornecidos pelo CRESESB - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, apresentada junto à caracterização dos dados climáticos na seção de resultados. A estimativa considera a potência do conjunto, o número de painéis, as horas de sol pleno ou irradiação. A Equação 5 apresenta o cálculo da geração fotovoltaica potencial.

Equação 5 – Cálculo da produção potencial de energia do sistema fotovoltaico:

$$E = N \times P \times I$$

Onde:

E = Energia a ser gerada em kWh/dia,

N = Número de painéis fotovoltaicos,

P = Potência máxima do painel em kWh,

I = Irradiação em kWh/m²/dia

Fonte: Fonte: Nakano, Pacheco e Grimoni (2021), adaptado pelo autor.

A relação entre energia gerada e energia potencial é denominada taxa de desempenho (TD), que considera o rendimento do sistema, a temperatura de operação, as perdas de cabeamento, a sujeira na superfície, entre outras perdas (NAKANO, PACHECO E GRIMONI, 2021). O CRESESB recomenda valores de TD entre 0,7 e 0,8 para o Brasil. Através da TD foi possível pré-dimensionar os sistemas fotovoltaicos para atingir a autossuficiência. A equação 6 apresenta o cálculo da taxa de desempenho.

Equação 6 – Cálculo taxa de desempenho do sistema fotovoltaico:

$$\text{Taxa de desempenho (TD)} = \frac{\text{Energia real fornecida pelo sistema}}{\text{Energia máxima teórica possível}}$$

Fonte: Nakano, Pacheco e Grimoni (2021).

A taxa de desempenho do sistema foi utilizada para ajustar a estimativa de geração de energia renovável em relação às perdas do sistema. Também foram consideradas perdas de eficiência nos painéis ao longo do tempo, conforme dados do fabricante dos painéis, com a capacidade de geração reduzida a 80% no vigésimo quinto ano de operação. Desse modo, foi possível estimar a geração de energia durante o ciclo de vida de 25 anos do sistema fotovoltaico, baseada em perdas que ocorrem devido à disponibilidade de irradiação e condições climáticas, conforme a equação 7.

Equação 7 – Produção de energia do sistema FV considerando a taxa de desempenho:

$$E = N \times P \times I \times TD$$

Fonte: Fonte: Nakano, Pacheco e Grimoni (2021), adaptado pelo autor.

Onde:

E = Energia a ser gerada em kWh/dia,

N = Número de painéis fotovoltaicos,

P = Potência máxima do painel em kWh,

I = Irradiação em kWh/m²/dia

TD = Taxa de desempenho

Fonte: Fonte: Nakano, Pacheco e Grimoni (2021), adaptado pelo autor.

Também foi utilizada a modelagem do edifício em BIM no software Autodesk Revit (AUTODESK, 2019) para identificar quais as áreas de telhado livres de sombreamento pela volumetria e entorno. Conforme Balfour, Shaw e Nash (2019), o sistema deve receber o máximo de radiação solar direta, sendo aceitável uma parcela de sombreamento, com o período das 9h às 15h apresentando a maior faixa de irradiação. Obstruções, como elementos construídos, árvores e outros objetos, podem sombrear o conjunto, alterando o comportamento do sistema e o nível de produção de energia. Além disso, elementos climáticos, tais como chuvas, nuvens e neblina, também afetam a produção dos painéis, necessitando que painéis extras sejam previstos para compensar essas perdas.

Após a definição dos sistemas fotovoltaicos, foi estimada a quantidade de CO₂ evitada, como indicador para avaliar o impacto ambiental de cada cenário proposto. No ano de 2021, o fator médio de emissões do SIN (Sistema Interligado Nacional) do Brasil foi de 0,1264 tCO₂/MWh, fornecido pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI, 2022), superior aos 0,0617 tCO₂/MWh de 2020 devido ao acionamento de usinas termelétricas. O cálculo para estimativa de emissões evitadas é apresentado na equação 8.

Equação 8 – Estimativa de emissões de CO₂ evitada

Valor Carbono Evitado (Kg)

= Eletricidade produzida em kWh x Fator médio de emissões em kg/kwh

Fonte: Solarview (2019)

Quando um sistema fotovoltaico abastece uma edificação para autoconsumo, esta deixa de consumir energia do SIN, que emite CO₂ (SOLARVIEW, 2019). Desse modo, também será possível mensurar o impacto ambiental positivo através da redução de emissões, de modo a compensar o CO₂ emitido na fabricação e transporte dos componentes.

3.7. Propostas de retrofit e geração de energia renovável

Foi proposto o *retrofit* da edificação em estudo, onde foram avaliados os sistemas de iluminação e condicionamento de ar, que impactam diretamente no consumo de energia elétrica e nas condições de conforto do edifício, além dos demais equipamentos. Também foram avaliadas outras estratégias de design passivo com o objetivo de reduzir a necessidade de uso desses sistemas e melhorar as condições do ambiente interno.

Para a avaliação das propostas para o sistema de iluminação artificial foi utilizado o software DIALUX® (DIAL GMBH, 2020), desenvolvido em 1994 pela empresa alemã DIAL GmbH, modelando o sistema atual, para avaliação da capacidade de iluminação teórica do sistema existente e também a modelagem dos cenários de retrofit. O uso do software permitiu a geração de curvas *isolux*, semelhantes a plantas topográficas, além de imagens em 3D com cores falsas, representando os níveis de iluminância, facilitando a percepção da distribuição da iluminação nos ambientes, bem como se os níveis se encontram adequados às normas técnicas.

Para a avaliação da iluminação natural foi utilizado o software Velux Daylight Visualizer®, desenvolvido pela empresa dinamarquesa Velux. O software permite a modelagem própria ou importar modelos 3D de outros softwares, com funções para cálculo de iluminância e luminância proveniente de luz natural para ambientes internos, incluindo também o cálculo do Fator de Luz do dia – FD, o qual representa a quantidade de luz difusa em diferentes pontos em relação à quantidade de luz difusa fora do edifício em condições de céu nublado (VELUX, 2020b). De acordo com Morsch et al. (2017), o software Velux apresenta limitações quanto à modelagem de elementos arquitetônicos como *brises-soleil*, que podem influenciar nos resultados da simulação.

Nesse sentido, a edificação foi modelada no software Autodesk Revit, versão educacional, (AUTODESK, 2019), devido à interoperabilidade com os softwares anteriores, através de arquivos IFC (*Industry Foundation Classes*) e DWG. Essa abordagem permitiu modelar com mais precisão os elementos arquitetônicos que influenciaram nos resultados das simulações de iluminação e que, por sua vez, forneceram dados para a elaboração dos cenários

de retrofit dos sistemas. Três cenários de análise foram estabelecidos para verificar os impactos das estratégias de eficiência energética, bem como a relação dessas estratégias e a capacidade do sistema de energia renovável.

O cenário 1 considera não adotar nenhuma medida de eficiência energética imediata, mantendo as condições atuais do edifício e estimando o sistema necessário para torná-lo autossuficiente nessas condições, apenas considerando nos custos a reposição gradual das lâmpadas. O cenário 2 considera o retrofit dos sistemas de climatização e iluminação, com aproveitamento da iluminação natural e, após a verificação de redução no consumo, o sistema fotovoltaico foi dimensionado para autossuficiência desse novo consumo, por adotar estratégias de eficiência energética, o edifício seria convertido em um *Zero Energy Building - ZEB*. O cenário 3, além das estratégias de retrofit para eficiência energética, foi projetado para tornar o L1 um Edifício de Energia Positiva – EEP ou *plus energy building*, gerando energia excedente ao consumo. Por questões técnicas quanto à infraestrutura de rede, o sistema foi limitado a 75kWp, dentro da classificação de microgeração. O quadro 1 apresenta os cenários de autossuficiência:

Quadro 1 – Cenários para verificação de autossuficiência em energia:

	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3
Sistema de energia renovável	Sistema existente 6,76kWp (18 placas) + Sistema de 4kWp (9 placas) Total 10,8kWp	Sistema existente 6,76kWp (18 placas) + Sistema de 2,24kWp (5 placas) Total 10,8kWp	Sistema existente 6,76kWp (18 placas) + Sistema de 9kWp (151 placas) Total 75kWp
Ações de eficiência energética	Sem ações de eficiência energética (considerado custo para reposição gradual de lâmpadas)	Retrofit sistema de iluminação, climatização e aproveitamento de luz natural (interruptores e sensores)	Retrofit sistema de iluminação, climatização e aproveitamento de luz natural (interruptores e sensores)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Cada cenário foi avaliado do ponto de vista técnico e econômico, além da verificação em relação ao atendimento da certificação GBC Brasil zero energy. Outras fontes de energia renovável poderão ser avaliadas em estudos futuros, assim como outras estratégias de eficiência energética.

3.8. Avaliação da taxa de retorno do investimento

A avaliação da taxa de retorno do investimento utilizou os métodos do *payback* simples, *payback* descontado e taxa interna de retorno (TIR). Os custos considerados foram: a implantação do sistema solar fotovoltaico; a certificação GBC Brasil Zero Energy e, os demais custos projetados em cada cenário de avaliação, como a substituição de lâmpadas, a troca do sistema de climatização, dos dispositivos de sombreamento, entre outros orçados. Os orçamentos utilizaram como base o relatório de Insumos e Composições para o Estado do Rio Grande do Sul do SINAPI - Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2021), além de cotações com fornecedores e mão-de-obra própria da UPF. Foi considerado um segundo retrofit do sistema de iluminação, uma vez que a vida útil das lâmpadas é de cerca de 12 anos, considerando a utilização máxima de 8 horas diárias durante o ano letivo. Na proposta sem ações de eficiência energética, foi considerado um valor para a substituição gradual das lâmpadas do edifício L1, sem retrofit.

O *payback* simples forneceu uma análise rápida da viabilidade de cada cenário, permitindo observar se a proposta possui tempo de retorno favorável, que será estabelecido como 25 anos, valor referente ao fim do ciclo de vida dos painéis fotovoltaicos. O método do *payback* descontado utilizou taxas de desconto para ajustar o fluxo de caixa, sendo considerados o aumento tarifário de energia elétrica e a redução do crédito de energia do sistema fotovoltaico devido à perda de eficiência do sistema ao longo do tempo. Uma vez que esse método considera o valor do dinheiro no tempo, é necessário considerar que os custos de energia não serão os mesmos 25 anos depois da instalação do sistema de energia renovável e de um possível retrofit, portanto, é necessário considerar esse aumento de custo para que o *payback* apresente valores mais próximos da realidade. Também foi possível identificar o custo de energia na hipótese de não serem realizadas as ações de eficiência energética.

A taxa interna de Retorno (TIR) foi utilizada a fim de fornecer uma taxa comparável à taxa mínima de atratividade. Conforme Souza e Penha (2020), o valor da taxa Selic – Sistema Especial de Liquidação de Custódia pode ser utilizado como índice de comparação, ou seja, a rentabilidade do retorno do investimento do sistema fotovoltaico e retrofit deverá ser superior à taxa SELIC, caso contrário, seria vantajoso investir o dinheiro em uma aplicação atrelada à SELIC ao invés de implantar as medidas propostas. Em janeiro de 2022, a taxa Selic estava 9,25% ao ano, para o final de 2024 a previsão é de que a taxa seja cotada a 7% ao ano (AGÊNCIA BRASIL, 2022).

Dessa forma, para que sejam mais viáveis que a aplicação financeira, os sistemas para autossuficiência em energia deverão ter taxa de retorno superior à rentabilidade da aplicação financeira atrelada à taxa Selic. A aplicação em títulos do tesouro direto não será considerada neste trabalho, pois esse tipo de aplicação é permitido apenas para pessoas físicas, portanto, não se aplicaria à UPF. Então, a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) considerada neste estudo será a taxa Selic, ou seja, se uma das propostas apresentar TIR menor do que a Selic, será descartada. Além dos indicadores financeiros, outras variáveis podem ser consideradas para a seleção de projetos de energia renovável. Conforme Aguilar (2018), os indicadores com mais variáveis fornecem mais precisão na tomada de decisão, entretanto, análises como o custo de energia no primeiro ano, a nível de estudo entre propostas, permitem uma avaliação rápida na seleção de estratégias. O custo da energia no primeiro ano foi calculado para determinar qual solução espacial em relação aos painéis pode ser mais benéfica, sendo o quociente entre o custo para implantação do sistema e a energia gerada no primeiro ano de operação, expresso conforme a Equação 9.

$$\text{Equação 9 – Cálculo do custo da energia no primeiro ano}$$

$$E_{cost} = \frac{\text{Custo de instalação do sistema fotovoltaico}}{\text{Energia gerada no primeiro ano}}$$

Onde:

E_{cost} = Custo da energia no primeiro ano em R\$/kWh

Fonte: Aguilar (2018), adaptado pelo autor.

Pretende-se, portanto, definir qual dos cenários possui a melhor viabilidade técnica e financeira, através da menor taxa de retorno do investimento, da relação entre custo de implantação e da geração de energia. O tempo limite aceitável foi estabelecido em 25 anos, referente à vida útil do sistema fotovoltaico, sendo assim, valores de *payback* acima deste prazo inviabilizariam as propostas. Em caso de tempos de *payback* similares, foram considerados aspectos qualitativos, como os benefícios aos usuários, a melhoria de desempenho do edifício, emissões e consumo evitados, bem como os impactos ambientais pelo descarte de materiais.

3.9. Verificação das condições de autossuficiência em energia

Os critérios para a verificação de autossuficiência neste estudo foram baseados na certificação GBC Brasil *Zero Energy*, do *Green Building Council* Brasil, conforme os requisitos do formulário de balanço energético. No formulário foram consideradas as fontes de energia primária, incluindo geradores, gás natural e gás GLP, assim como o consumo mensal de energia elétrica em kWh, sendo estabelecido o consumo para 12 meses em kWh/ano, que somados resultam no consumo total de energia pela edificação.

Posteriormente, foram inseridos os dados referentes à geração de energia elétrica por fontes renováveis em kWh/ano e, ainda, dados referentes a créditos de energia, em kWh/ano, em que há limitação de 10% do total do consumo para algumas tipologias, como edifícios comerciais. Após a comparação dos valores de consumo e geração anual, foi possível identificar se a edificação alcançou as condições necessárias para o balanço energético e se estava apta a certificação (GBC BRASIL, 2020).

Quanto ao consumo de gás GLP, este foi convertido em kWh, visto que a certificação oferece duas alternativas: somar esse consumo convertido ao consumo de eletricidade e então dimensionar o sistema de energia renovável ou contabilizar esse consumo para a compra de créditos de energia renovável e compensar apenas o consumo elétrico através dos painéis fotovoltaicos.

A verificação da autossuficiência foi avaliada nos cenários propostos pelo estudo a fim de verificar se o sistema existente, somado à possível compra de créditos de energia para compensação de consumo, permitirá alcançar o equilíbrio energético. A avaliação de um cenário sem intervenções de eficiência energética tem por objetivo demonstrar o impacto das estratégias de redução de consumo para atingir o equilíbrio energético da edificação, assim como nos custos de operação do edifício.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados do estudo. Primeiramente, será descrita a caracterização do edifício; em seguida, será desenvolvida a avaliação desses dados, em requisitos como envoltória, iluminação e condições de conforto. Posteriormente, será exposto o diagnóstico referente ao atendimento das normas técnicas, bem como os potenciais para a redução de consumo de energia e, também, o potencial de geração de energia renovável. Após essa etapa, será demonstrada a avaliação técnica dos cenários para retrofit e autossuficiência em energia da edificação. Por fim, será apresentada a avaliação econômica das propostas, seguida pelas considerações sobre as contribuições de estudo para a temática abordada.

4.1. Caracterização do edifício

Neste item o objeto de estudo será descrito através de dados estáticos e dinâmicos. Foi realizado o levantamento *in loco* do edifício para a coleta de dados durante o ano de 2020.

4.1.1 Dados estáticos

Com 3.842,92m² de área construída, o edifício é composto por 2 pavimentos, concluído no ano de 2000, portanto, já apresenta vinte anos de uso. O entorno apresenta vegetação arbórea de pequeno e médio porte e áreas gramadas. O edifício é disposto de maneira linear no terreno, com as faces maiores voltadas para o sentido norte-sul, sendo que a configuração do telhado propicia condições favoráveis para a instalação de placas fotovoltaicas, voltadas para a orientação norte, que permitirá maiores índices de radiação solar.

O edifício foi construído em estrutura de concreto armado, moldado *in-loco*. As alvenarias externas são em bloco cerâmico, revestidas na face externa com chapisco, emboço e plaquetas cerâmicas, na face interna com chapisco, emboço, reboco e pintura, totalizando 24 cm de espessura, sendo que nos sanitários e em alguns dos laboratórios, a face interna também é revestida com azulejos. As divisórias internas são do tipo leve, com perfis metálicos, chapas laminadas e vidro laminado. Os tetos são em laje aparente, pintada, com rebaixamento em gesso apenas no saguão principal e nos corredores dos dois pavimentos.

No pavimento térreo, os laboratórios são o uso predominante, incluindo laboratórios de aulas práticas e laboratórios do CEPA, seguidos pelas salas de aula teórica com diferentes capacidades. Também há sanitários, vestiários e áreas de apoio, como cozinha, área de serviço, arquivo e depósito de materiais. Ainda, o pavimento superior apresenta o predomínio de

laboratórios, também divididos entre laboratórios de aula e do CEPA, possuindo apenas uma sala de aula teórica. Além disso, há salas de apoio (secretaria, coordenação, salas de professores, sala de alunos da pós-graduação), sanitários e o saguão principal do edifício. A Figura 27 apresenta as plantas baixas do edifício L1.

Figura 27 – Plantas baixas do edifício L1



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

As esquadrias externas são do tipo *maxim-ar* ou de correr, em alumínio na cor preta, com vidros do tipo incolor, com bandeira fixa acima do dispositivo de abertura, totalizando 2,10m de altura e 1,10m de peitoril. Algumas salas possuem película refletiva na face externa das esquadrias, telas tipo mosquito e, não há dispositivos de sombreamento externos instalados. Nenhuma das esquadrias apresenta vidros duplos e algumas delas possuem abertura para passagem de coifas e exaustores. O telhado é constituído por tesouras em madeira, cobertas com telha de fibrocimento 8mm, apoiadas sobre laje, com exceção do hall de entrada, onde a cobertura é em estrutura metálica, sem laje, com forro rebaixado em gesso acartonado.

Entre a laje de forro e a cobertura há uma câmara de ar. A figura 28 apresenta vistas externas das fachadas do edifício.

Figura 28 – Vistas externas e corte esquemático do edifício L1



Fonte: Fotografia do autor (2021).

O sistema de iluminação artificial no edifício é composto por luminárias com lâmpadas fluorescentes tubulares T8, modelo de sobrepor, instaladas junto às lajes de forro e alimentadas por eletrodutos aparentes, com exceção dos corredores e saguão, os quais possuem forro rebaixado em gesso e utilizam luminárias de embutir. As luminárias possuem aletas cromadas, exceto nos banheiros, vestiários e cozinha. Durante o levantamento foram constatadas luminárias com lâmpadas de diferentes temperaturas de cor, lâmpadas queimadas e luminárias com aletas ausentes.

Referente ao sistema de climatização, algumas salas e laboratórios possuem aparelhos de ar condicionado, do tipo *hi-wall*, com unidades externas instaladas sobre a cobertura ou na fachada. Salas como a incubação da microbiologia necessitam de ambiente climatizando constantemente, com temperatura controlada entre 18 C° e 27 C° durante o funcionamento dos ambientes. São 27 equipamentos, totalizando potência de 76,26 kW e 835.000 BTUs, com capacidade de refrigeração dos aparelhos variando de 9.000 até 60.000 BTUs e classificação de eficiência energética de 3,21 a 3,69 W/W. A figura 29 demonstra os climatizadores.

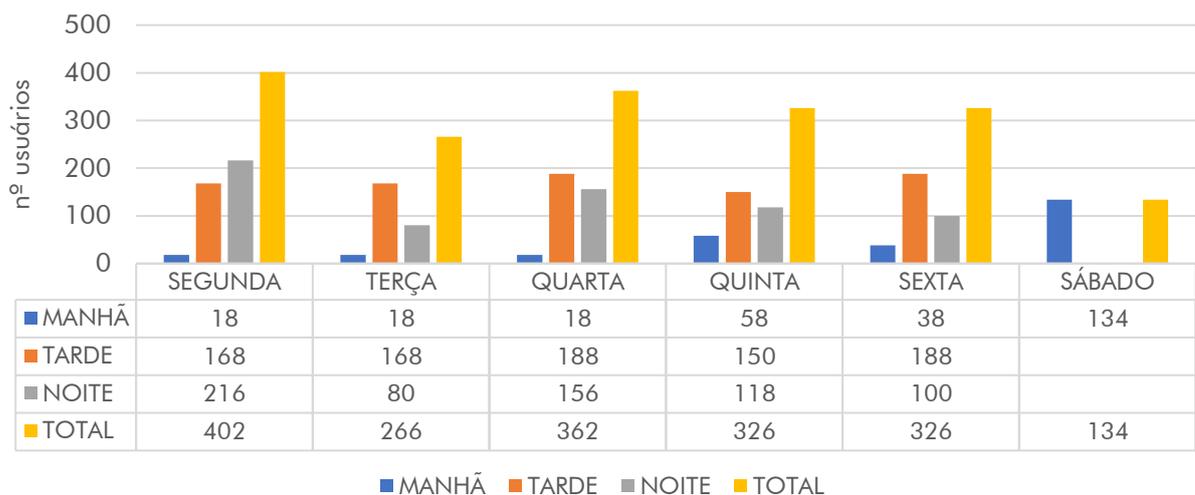
Figura 29 – Climatizadores do edifício L1



Fonte: Fotografia do autor (2021).

Atualmente, o edifício é utilizado pelos cursos de graduação em Engenharia de Alimentos, Engenharia Química e, também, pelo Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos – PPGCTA, além de abrigar o CEPA – Centro de Pesquisa em Alimentos. Ainda, alunos de outros cursos das Faculdades de Engenharia e Arquitetura da UPF utilizam as salas de aula teóricas do edifício. A frequência de ocupação do edifício foi estimada pelo número máximo de alunos por disciplina realizada no L1, conforme o turno, fornecidas pelas unidades acadêmicas. A determinação da intensidade de uso contribui para a identificação de quais estratégias de eficiência energética são mais adequadas. A figura 30 apresenta os horários de utilização do edifício.

Figura 30 – Número de usuários semanais estimados por turno de utilização



Fonte: Secretaria curso de Engenharia de Alimentos, adaptado pelo autor (2021).

As aulas concentram-se no período da tarde e noite, de segunda a sexta-feira e, nos sábados pela manhã, indicando o sistema de iluminação como um dos alvos de retrofit. Entretanto, durante as restrições da pandemia, apenas aulas práticas foram realizadas no

segundo semestre de 2021 e o restante das aulas ocorreu à distância, reduzindo assim o consumo da edificação. O CEPA utiliza laboratórios durante o período diurno, de segunda a sexta-feira, realizando análises de alimentos, grãos, saúde animal, sementes, potabilidade de águas, efluentes, entre outras atividades, atendendo empresas e pequenos produtores. São dez laboratórios, que incluem os seguintes: Águas; Análise Sensorial; Cereais; Controle de Efluentes; Cromatografia; Físico-química; Nutrição Animal; Microscopia; Microbiologia e, também, Análise de Rebanhos Leiteiros (UPF, 2021b). Durante o período de restrições da pandemia, apenas alguns dos laboratórios estavam em funcionamento.

As atividades ocorrem pela manhã, entre 8h00 e 11h35, à tarde, entre às 14h00 e 17h35 e, à noite, entre 19h20 e 22h35, com maior intensidade de uso no período da tarde e da noite. Em função do predomínio dos laboratórios, o edifício L1 apresenta intensidade de uso diferente de outras edificações do campus com salas de aulas teóricas, o que interfere no número de usuários do edifício. Além dos espaços para aulas teóricas e práticas, o CEPA utiliza os laboratórios no período diurno, sendo ocupados por técnicos e funcionários para operacionalizar os serviços oferecidos além do período letivo. O cenário de redução no consumo devido às restrições da pandemia poderá ser estendido à medida que o ensino híbrido seja consolidado, reduzindo a intensidade de uso da edificação, principalmente, em relação às salas de aula teóricas.

Sobre o sistema de energia renovável, o conjunto fotovoltaico existente foi instalado sobre a cobertura do prédio, voltado para a orientação norte e com o mesmo ângulo de inclinação do telhado (ângulo de 10°). Trata-se de um sistema *on-grid* (conectado à rede), composto por 16 módulos fotovoltaicos, 08 de 400Wp de potência e 08 de 445Wp, marca Trina Solar, monocristalino com 19,7% de eficiência, montados em sentido paisagem, com capacidade geração de 6,76 kWp; um inversor monofásico de 5kW, marca Huawei, instalado na circulação do pavimento térreo, junto ao laboratório de operações unitárias. A figura 31 apresenta o sistema instalado.

Figura 31 - Sistema fotovoltaico sobre a cobertura do prédio L1



Fonte: Fotografia do autor (2021).

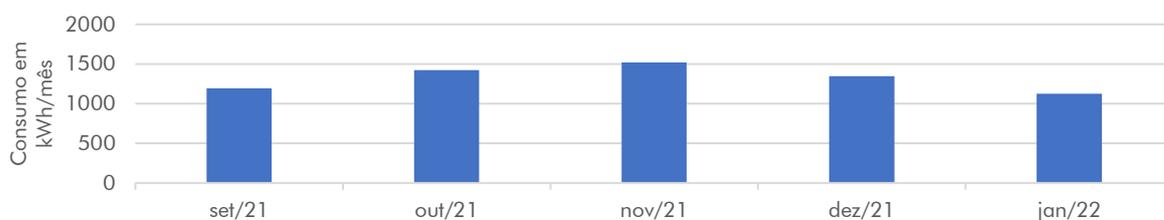
O custo total para a implantação do sistema foi de R\$ 32.220,00, com o financiamento da Royal Society do Reino Unido, por meio do fundo Newton Advanced Fellowships (protocolo NAF\R2\192189) para o projeto de pesquisa Avance Drinking Water From Rain: a Standalone Green Energy Powered Rainwater Purification System. A instalação foi iniciada em fevereiro de 2021 e capacidade ampliada em julho do mesmo ano.

4.1.2 Dados dinâmicos

A medição do consumo do edifício foi fornecida pelo setor de sistemas elétricos da UPF, realizada em uma subestação, próxima ao L1, com dados mensais em kWh. Devido à troca dos equipamentos de medição, foram fornecidos os dados de consumo a partir de setembro de 2022, quando parte das atividades presenciais começou a ser retomada. Também foi realizado o levantamento das instalações do edifício, tais como os sistemas de iluminação, climatização, de modo a determinar a demanda do edifício e identificar o potencial de redução de consumo, além de gerar indicadores de Ecoeficiência. Conforme Frandoloso (2018), a carga instalada no edifício é de 539.660 W considerando os sistemas de iluminação, climatização e equipamentos, os quais se revelam em uma considerável parcela de consumo de fundo, de funcionamento constante.

Cabe salientar que, em virtude das restrições de circulação devido à pandemia de Covid-19, parte das atividades presenciais no edifício foram suspensas, entretanto, alguns dos laboratórios e o CEPA mantiveram suas atividades mesmo durante as restrições. A média de consumo nos últimos 5 meses foi de 1321,80 kWh/mês, incluindo o autoconsumo do sistema fotovoltaico, devido a problemas nos equipamentos de medição, não há dados anteriores a este período. Projetando a média atual para 12 meses, o consumo anual do edifício seria de 15.861,80 kWh/ano. A figura 32 apresenta os dados relativos ao consumo do edifício L1.

Figura 32 - Consumo de energia elétrica do prédio L1.



Fonte: Setor de sistemas elétricos UPF.

Quanto ao comissionamento do consumo, este é coletado pelo setor responsável pela energia da universidade. Conforme Daneli (2019), o Campus I possui um sistema elétrico privado de média tensão, com distribuição através de subestações junto aos edifícios. A

universidade conta com um sistema de monitoramento, com análise de períodos mensais e anuais, permitindo também avaliar o consumo por setores e por edificações, fornecendo subsídios para delinear estratégias de redução energética. Mesmo localizadas no mesmo campus, há fatores que influenciarão no perfil e modo como as edificações consumirão energia.

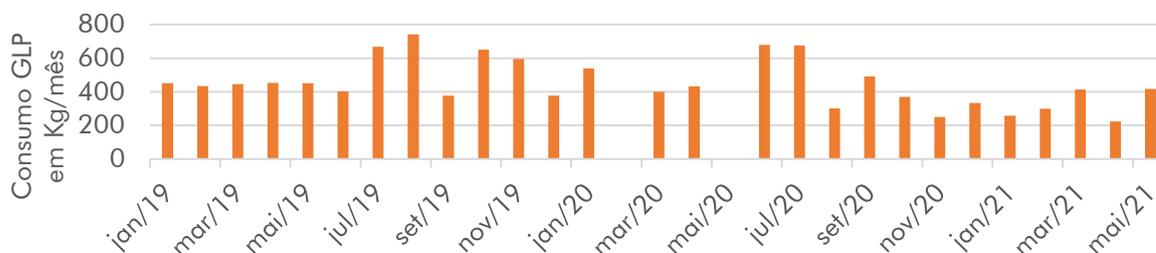
O estudo de Aguayo-Ulloa, Valderrama-Ulloa e Rouault (2016) indica a idade da construção e a utilização para laboratórios de pesquisa como fatores que implicam em um consumo maior ou menor. A termo de comparação, o edifício V2 da UPF (já avaliado por MORSCH et al. 2017; MATANA JÚNIOR, MAGRO E FRITSCH, 2019; FRANDOLOSO, 2020) foi finalizado em 2015 enquanto o edifício L1 foi concluído no ano 2000 e, apesar da diferença de 15 anos, os sistemas de iluminação dessas construções apresentam consumos similares por utilizarem lâmpadas fluorescentes e possuem um número de luminárias semelhante, o que já não ocorre no sistema de climatização e equipamentos. Além disso, o L1 é composto, em sua maioria, por laboratórios e, outros edifícios do campus I, como o V2, possuem predomínio de salas de aula teórica. Nesse caso, o uso do edifício é um dos fatores preponderantes na diferença de consumo, pois o L1 apresenta mais laboratórios, equipamentos e perfil de uso diferente em relação ao V2 e outros edifícios já analisados para a implantação de estratégias de eficiência energética na UPF.

A forma do edifício é outro fator que altera as características de consumo, mesmo com área construída similar, o edifício L1 possui forma retangular, com as faces maiores no sentido norte-sul e 2 pavimentos, enquanto o edifício V2 possui as maiores faces voltadas para leste e oeste, além de 3 pavimentos; dessa forma, apresentam diferentes superfícies expostas à radiação solar. De acordo com Dalbem et al. (2017), as maiores fachadas ao norte maximizam ganhos de calor no inverno e fachadas menores para leste e oeste reduzem os ganhos de calor durante o verão. Nesse sentido, o edifício L1 apresentaria menor necessidade de climatização do que o edifício V2 devido à forma e pela menor áreas de superfície exposta aos ganhos de calor.

O uso de cada ambiente irá influenciar no consumo, escritórios com computadores e outros equipamentos eletrônicos demandam de maior uso de ar condicionado para resfriamento, nesse sentido, quanto menores forem as cargas internas, menor será a demanda (SANTESSO E CHVATAL, 2018). Diversos equipamentos instalados no prédio L1, tais como geladeiras, freezers e estufas, possuem uso contínuo, ou seja, não são desligados, continuando em operação também durante os finais de semana. Portanto, mesmo com as restrições de uso do edifício, as medições atuais fornecem um consumo próximo ao da utilização do edifício em condições normais. Além disso, alguns dos ambientes necessitam de controle de temperatura, exigindo uso contínuo dos climatizadores. Ainda, foram coletados dados referentes ao consumo de gás

GLP do edifício, visto que a certificação do GBC Brasil exige que esse consumo seja convertido em kWh para o cálculo de autossuficiência ou considerado para compra de RECs (*Renewable Energy Certificates*). A média de consumo é de 418,41 Kg/mês e a figura 33 apresenta o consumo de gás do edifício L1.

Figura 33 - Consumo de gás GLP do edifício L1.



Fonte: Almoxarifado UPF (2021).

Com relação ao comissionamento do consumo, com exceção do sistema de medição de consumo fora do edifício, não há equipamentos de monitoramento no próprio prédio. Também não há sensores de presença ou equipamentos de automação visando o controle e redução do consumo. Ainda, não há publicidade voltada para as boas práticas para diminuição do consumo pelos usuários do prédio.

Quanto às condições de conforto, algumas das salas e laboratórios possuem equipamentos de climatização, como ar condicionado tipo split e ventiladores, conforme o levantamento realizado. Os ambientes voltados para sul, em geral, não possuem persianas internas e, não há dispositivos de sombreamento, tendo em vista a menor incidência solar nessa fachada. A área envidraçada dessas salas também deve ser considerada em relação a perdas de calor durante o inverno. Na fachada norte, que recebe a maior incidência solar, não há dispositivos de sombreamento, com exceção do beiral da cobertura, que projeta sombras no segundo pavimento. A figura 34 apresenta vistas da fachada às 15h horas de um dia de verão.

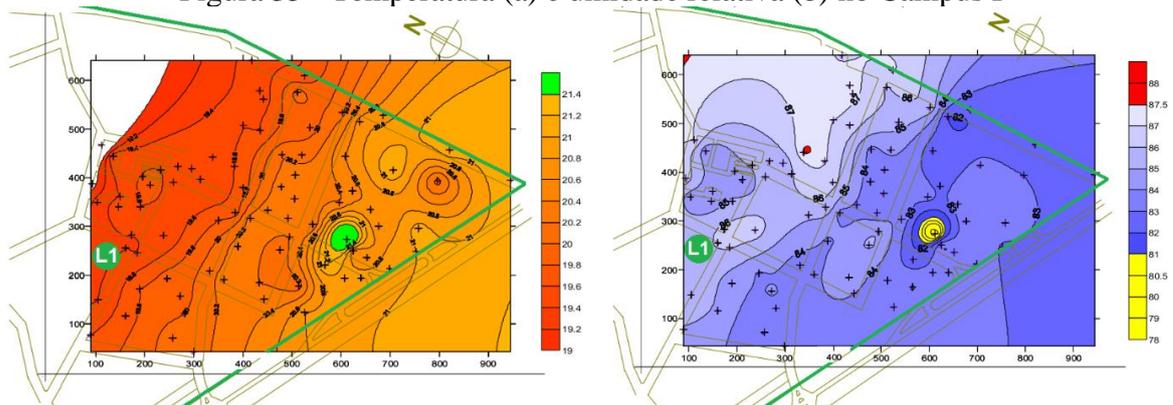
Figura 34 – Fachada norte às 15h de um dia de verão



Fonte: Fotografia do autor (2021).

Diversas salas e laboratórios possuem persianas internas, variando quanto ao tipo, horizontal ou vertical, e quanto aos materiais, os quais contribuem para regular o nível de iluminação, contudo, são ineficientes na redução da absorção de carga térmica para o interior dos ambientes. As variáveis ambientais afetam o desempenho do edifício e o uso de seus sistemas. A precipitação e as temperaturas devem ser consideradas, pois conforme Campos e Alcântara (2016), a ocorrência de dias nublados e chuvosos tem influência na iluminação natural e reduz a produção de energia fotovoltaica. De acordo com Melo et al. (2007), a área onde está localizado o edifício apresenta menores temperaturas em relação quando comparada à de outros edifícios em cotas mais altas, na faixa de 19,5 °C, bem como umidade relativa de 85%. Além disso, a localização em uma cota mais baixa influencia na disponibilidade de ventos, não oferecendo condições propícias para aproveitamento de energia eólica, em relação a outras áreas do campus localizadas em cotas mais altas e sem maciços de vegetação no entorno. A figura 35 apresenta mapas de temperaturas e umidade relativa do Campus I.

Figura 35 - Temperatura (a) e umidade relativa (b) no Campus I



Fonte: Melo et al. (2007), adaptado pelo autor.

Os valores de irradiação solar para Passo Fundo para a estimativa de geração fotovoltaica foram obtidos através do Sun Data v.3.0 (CRESESB, 2018) e são apresentados na Tabela 4:

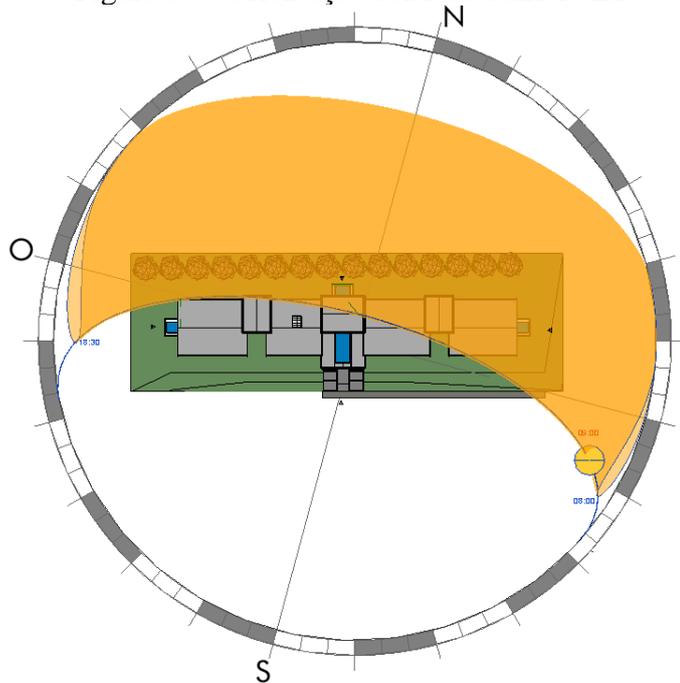
Tabela 4 – Valores de radiação solar do município de Passo Fundo
Radiação solar em kWh/m²/dia para o município de Passo Fundo

Ângulo de instalação do painel	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
0° N Plano Horizontal	6,20	5,81	4,96	4,01	3,01	2,52	2,86	3,63	3,85	5,01	6,17	6,50	4,54
28° N (latitude)	5,53	5,55	5,22	4,76	3,95	3,46	3,89	4,52	4,18	4,93	5,60	5,68	4,77
22° N Maior média anual	5,75	5,69	5,25	4,67	3,80	3,31	3,72	4,39	4,17	5,01	5,79	5,93	4,79
48° N Maior mín. mensal	4,57	4,82	4,86	4,78	4,19	3,76	4,19	4,65	3,99	4,38	4,67	4,61	4,45

Fonte: Cresesb (2018), adaptado pelo autor.

O edifício possui orientação solar que favorece a geração de energia fotovoltaica pela configuração do telhado em duas águas, com uma das águas voltadas para norte. No entanto, a forma do edifício também deixa uma das maiores faces exposta à maior carga térmica pela devido à exposição de radiação solar desde a manhã até o final da tarde, tanto no inverno quanto no verão. A figura 36 apresenta a orientação solar do edifício.

Figura 36 - Orientação solar do edifício L1



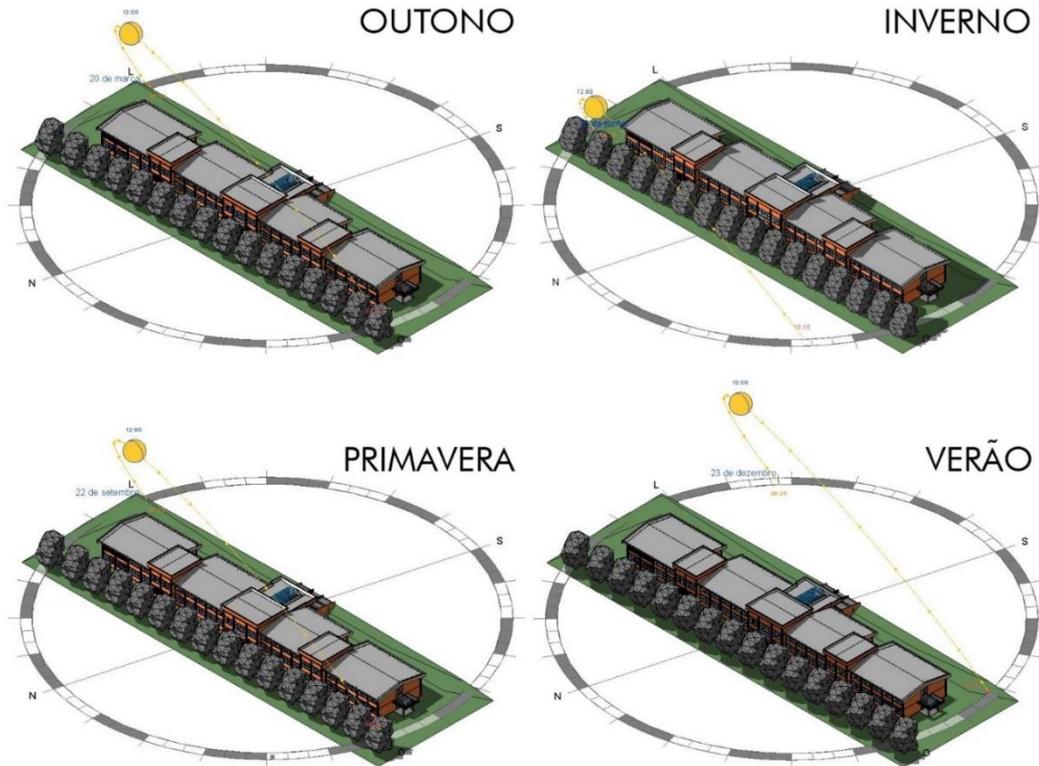
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na fachada norte, uma extensa barreira vegetal de espécies arbóreas perenes de médio e grande porte fica próxima à fachada, com algumas espécies caducifólias e outras perenes, influenciando no sombreamento das salas e laboratórios durante o ano inteiro. No período do verão, a barreira projeta sombras nos ambientes do pavimento térreo e na primavera, outono e inverno, alguns dos ambientes térreos recebem mais iluminação natural devido às espécies caducifólias do maciço. Na fachada sul, junto ao passeio, há espécies arbóreas de pequeno porte, de folhas perenes, que não influenciam no sombreamento das salas por longos períodos em função da distância entre o edifício e o passeio, com exceção da árvore junto ao acesso principal do edifício, de grande porte, a qual gera sombreamento sobre parte do laboratório de operações unitárias durante a manhã.

Através da modelagem no Revit (AUTODESK, 2019), foi possível analisar a incidência solar no edifício ao longo do ano e, também, em situações específicas, como os solstícios de inverno e verão, visualizando o sombreamento gerado pelos elementos do edifício e pela

vegetação do entorno. A figura 37 apresenta a trajetória solar do edifício gerada pelo Autodesk Revit.

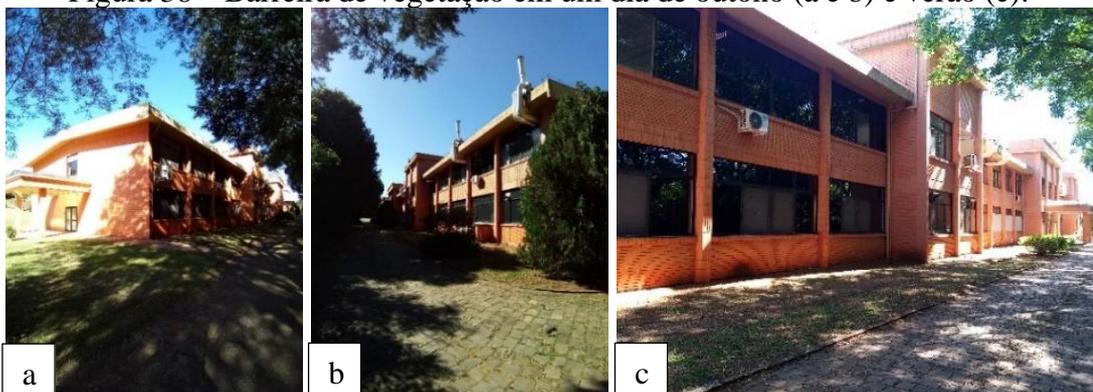
Figura 37 - Trajetória solar do edifício L1



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Durante o verão, como o ângulo de incidência solar é menor, ficando quase à pino, a fachada ainda recebe maior insolação e, por consequência, maior carga térmica. O beiral do telhado projeta sombra sobre às esquadrias do segundo pavimento e a barreira vegetal projeta sombras sobre parte dos ambientes no térreo. Além das implicações quanto às temperaturas, o aproveitamento da luz natural também é comprometido pela barreira vegetal, bem como o sombreamento sobre telhado foi analisado para aproveitamento da energia fotovoltaica. A figura 38 demonstra a barreira vegetal em relação ao edifício L1 às 15h no outono e no verão.

Figura 38 – Barreira de vegetação em um dia de outono (a e b) e verão (c):



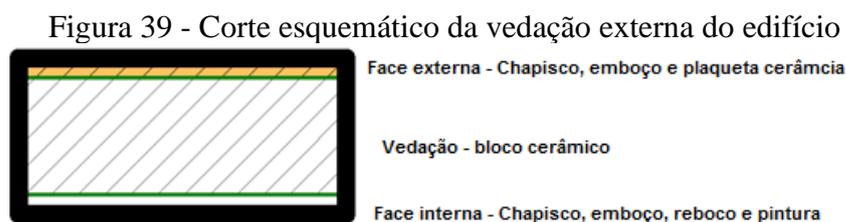
Fonte: Fotografia do autor (2021).

4.2. Avaliação

Após a coleta de dados estáticos e dinâmicos, os diferentes elementos e sistemas da edificação foram avaliados a fim de estabelecer estratégias de eficiência energética e conforto ambiental, permitindo a redução do consumo e a melhoria das condições de habitabilidade do edifício.

4.2.1 Envoltória

A avaliação de envoltória do edifício L1 já foi realizada por Frandoloso (2018), com a caracterização da cobertura com telhas de fibrocimento 8mm sobre a laje de concreto, e câmara de ar entre laje e telha. As alvenarias externas possuem 24cm de espessura, de alvenaria de tijolos furados, revestidas com chapisco, emboço e reboco na face interna e por emboço e plaqueta cerâmica na face externa. A Figura 39 apresenta corte esquemático da estrutura da vedação externa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Os níveis de transmitância térmica da envoltória do edifício L1 estão classificados abaixo do nível A (mais eficiente) do RTQ-C (PBE EDIFICA, 2013). As paredes estão classificadas como nível B e a cobertura classificada como nível C e D (FRANDOLOSO, 2018; FRANDOLOSO, CUNHA E BURGOS, 2021). A tabela 5 apresenta os valores de envoltória do edifício L1.

Tabela 5 – Classificação da envoltória do edifício L1.

Nível de qualidade RTQ-C	Coberturas		Paredes
	Climatizado	Não climatizado	
A	$U < 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U < 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U < 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$
B	$U < 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U < 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U < 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ (L1 $U = 1,134$)
C e D	$U < 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ (L1 $U = 2,167$)		$U < 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fonte: Frandoloso (2018), adaptado pelo autor.

A envoltória atende apenas ao pré-requisito “B” para parede e “C” para cobertura. A melhoria da envoltória pode ser alvo de retrofit, porém, implica na alteração de características construtivas e formais da edificação para aumentar o nível de desempenho, além de envolver

investimentos consideráveis. A tabela 6 apresenta os custos orçados para intervenções na envoltória do edifício:

Tabela 6 – Custo de estratégias de design passivo para melhoria de envoltória

Estratégia de retrofit e design passivo	Material	Mão-de-obra	Total
Retrofit Telhado – Remoção telhado existente e colocação de telha aluzinc termoacústica c/ EPS – 1946,50m ²	R\$ 139.747,48	R\$ 180.369,97	R\$ 320.117,45
Brise 84F 45° em alumínio liso – Janelas fachada norte	R\$ 125.532,00	R\$ 46.848,00	R\$ 184.380,00
Envelopamento fachada ventilada revestida em ACM (Alumínio composto) - 991,37m ²	R\$ 412,00/m ² (ALTHOF, PASSOLD E MARQUES 2021)		R\$ 408.444,44
TOTAL: R\$ 912.941,89			

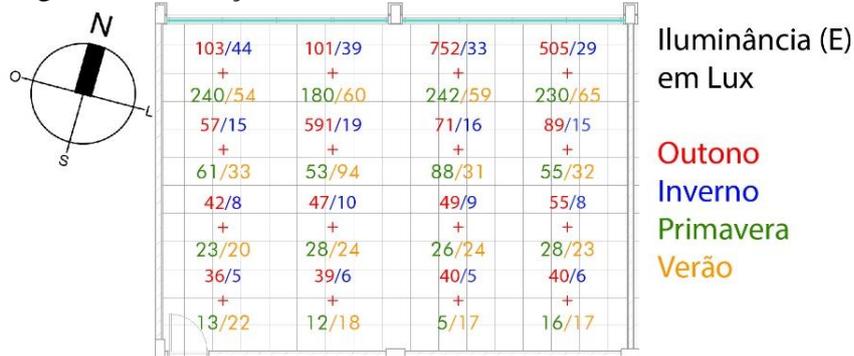
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na certificação Zero Energy (GBC BRASIL, 2020), quando comprovada a condição de autossuficiência do edifício *on-grid*, é dispensada a análise de envoltória pelo RTQ-C. Neste trabalho, o enfoque é estabelecer as condições para autossuficiência com o menor nível de intervenção e melhor retorno do investimento.

4.2.2 Iluminação natural

Foram selecionados uma sala de aula e dois laboratórios, em orientação solar e pavimentos distintos, pois tratam-se dos espaços com maiores requisitos de iluminação. As medições foram realizadas às 15h dos dias 18 de maio (outono), 23 de junho (solstício de inverno), 19 de setembro (primavera) e 23 de dezembro (solstício de verão). Nas medições de verão e outono, a condição era de céu limpo, sem nuvens e, nas medições de inverno e primavera, a condição do céu era nublado. Na sala de aula teórica 103, voltada para o norte, os valores aferidos em 3 das 4 medições foram insuficientes para aproveitamento em conjunto com o sistema de iluminação artificial, visto que os valores de iluminância próximos às janelas ficaram abaixo de 300 lux, influenciados pelo sombreamento da barreira vegetal. A figura 40 apresenta os valores das medições.

Figura 40 - Medição de iluminância diurna em sala de aula teórica.

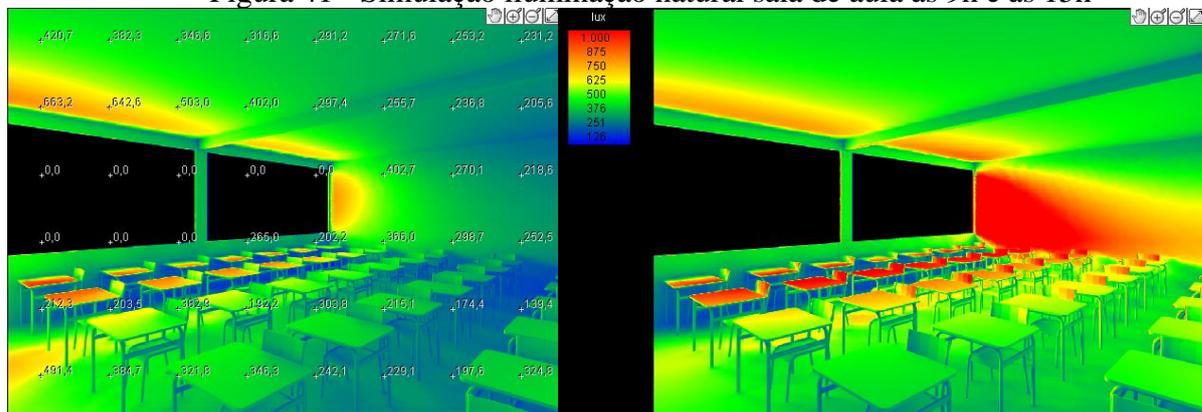


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na primavera, os valores foram maiores, mas ainda insuficientes. Além disso, os circuitos estão distribuídos no sentido quadro/fundo da sala, impossibilitando que apenas parte das luminárias, próximas às janelas, sejam desligadas, ou seja, não é possível desligar apenas parte das luminárias sem que haja redução da iluminância no restante da sala de aula. Apesar dos valores não atingirem o valor de iluminância na NHO11, o perfil dos usuários deve ser considerado para a definição do aproveitamento. Conforme Booyesen, Samuels e Grobbelaar (2020), o fator idade também deve ser considerado, uma vez que usuários mais jovens podem estar satisfeitos com 300 lux de iluminação, enquanto usuários com idade mais avançada necessitam de 500 lux para a realização de tarefas.

Após as medições *in loco*, os ambientes também foram modelados no software Velux a fim de comparar os níveis de iluminância aferidos e simulados, além de testar estratégias para dispositivos de sombreamento. A sala de aula voltada para o norte foi simulada na condição atual, às 9h e às 15h, em 21 de junho (solstício de inverno), dia com a menor disponibilidade de luz natural. Nas fileiras próximas às janelas, os valores de iluminância apresentaram condições para o aproveitamento de luz natural, entretanto, a barreira de vegetação não foi modelada. Portanto, os valores simulados foram diferentes dos aferidos. A figura 41 apresenta a simulação da sala de aula.

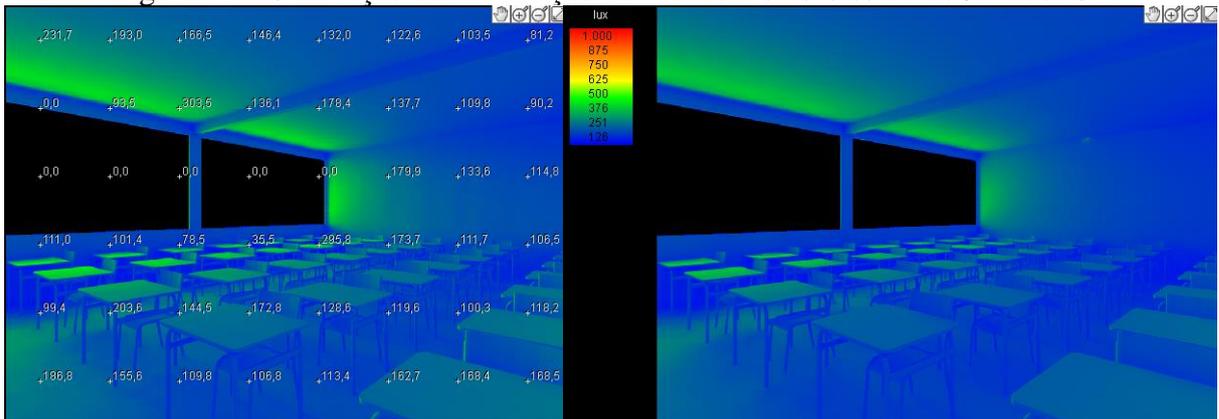
Figura 41 - Simulação iluminação natural sala de aula às 9h e às 15h



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em seguida, foi simulada a mesma sala de aula, porém com dispositivos de sombreamento, visando a redução da carga térmica e o controle de luminosidade no verão. A simulação demonstrou a redução no nível de luminosidade nos dois horários e, no período da tarde, também haveria a redução da carga térmica devido à radiação que não seria absorvida. Contudo, conforme o levantamento *in loco*, a barreira vegetal já reduz a disponibilidade de iluminação natural no verão, dessa forma, um *brise-soleil* (protetor solar) no pavimento térreo reduziria ainda mais essa disponibilidade. A figura 42 demonstra a simulação com *brises-soleil*.

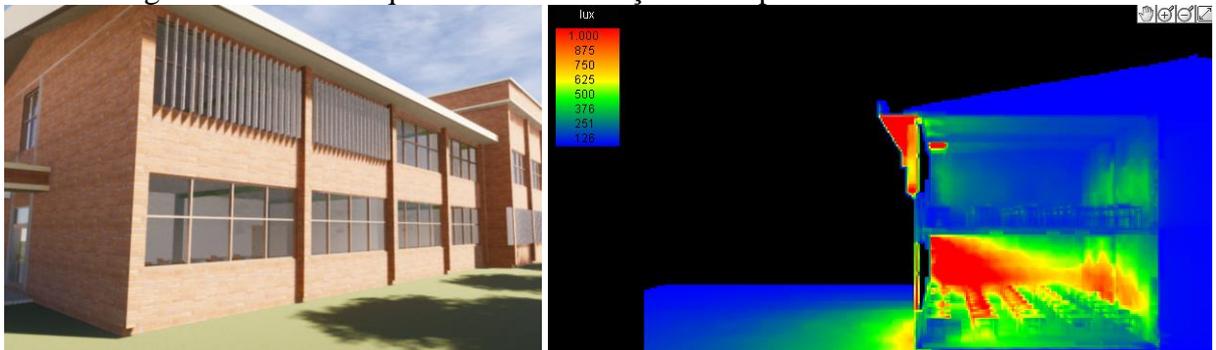
Figura 42 – Simulação da iluminação natural com *brises-soleil* às 9h e às 15h



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Morsch et al. (2017) indicaram que a modelagem no Velux poderia influenciar nos resultados pela dificuldade de modelar elementos como *brises-soleil*, dentro do próprio software. Essa barreira foi superada neste estudo, pois a modelagem em BIM permitiu inserir os elementos de sombreamento em uma fase anterior à simulação no Velux, ainda que a barreira vegetal não pudesse ser modelada com precisão. Um corte esquemático foi utilizado para demonstrar a diferença entre uma sala de aula com proteções solares verticais (superior) e sem as mesmas (térreo), conforme figura 43.

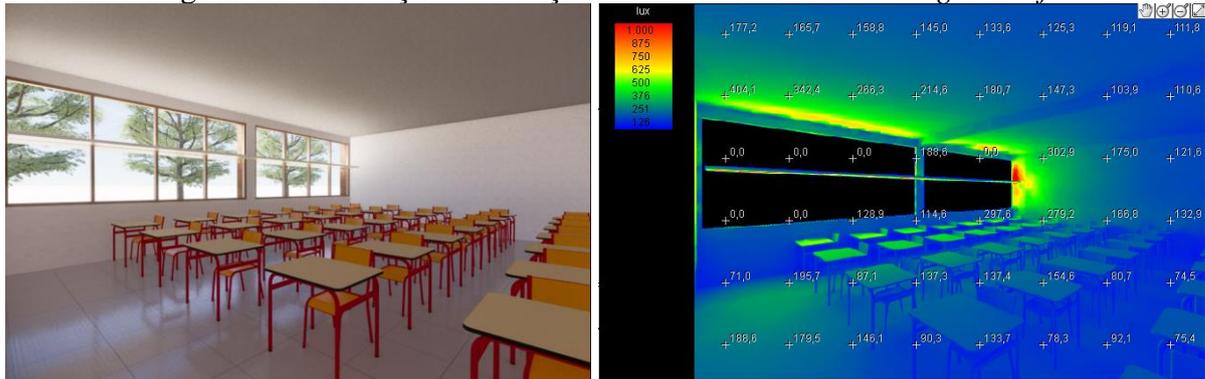
Figura 43 – Corte esquemático e simulação de dispositivo de sombreamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em face da redução de iluminação natural dos *brises-soleil*, outra estratégia que poderia ser utilizada é a *light-shelf* (prateleira de luz), na qual o dispositivo projeta iluminação difusa para o forro da sala, aumentando os índices de iluminância próximos às aberturas, sendo necessário remover ou adequar as persianas existentes. A *light-shelf* permite reduzir a carga térmica e ampliar os níveis de iluminação natural pela luz difusa refletida nos tetos, caso fossem utilizadas proteções solares, a solução deveria utilizar materiais translúcidos para não reduzir ainda mais a disponibilidade de luz natural no ambiente. A figura 44 apresenta a simulação com *light-shelf*.

Figura 44 - Simulação iluminação natural sala de aula com *light-shelf*



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Independente da orientação solar e localização, a utilização de grandes esquadrias pode aumentar o consumo para aquecimento e resfriamento dos ambientes (MURANO, PRIMO E CORRADO, 2018), sendo necessário avaliar qual estratégia tem melhor custo-benefício. Para a sala de aula, conclui-se que a utilização de dispositivos de sombreamento seria benéfica para a redução da carga térmica, uma vez que os índices de iluminância aferidos *in loco* foram inferiores ao necessário para permitir o desligamento de lâmpadas próximas às janelas, portanto, o uso de um dispositivo de sombreamento seria mais vantajoso no que se refere ao conforto térmico.

O segundo ambiente escolhido para avaliação de iluminação natural foi o laboratório de operações unitárias, localizado no pavimento térreo, é um dos ambientes que menos recebe incidência de luz natural direta. A figura 45 apresenta vistas internas e externa do laboratório.

Figura 45 – Vistas do laboratório de operações unitárias



Fonte: Fotografia do autor (2021).

O laboratório possui bancadas de trabalho posicionadas junto às janelas, uma bancada central, equipamentos para ultrafiltração de água e osmose reversa distribuídos pelo ambiente, além de refrigeradores. Junto a uma das paredes, há reservatórios de fibra de vidro sobre estrutura metálica, que geram áreas de sombreamento interno.

De acordo com as medições, o laboratório apresenta condições para aproveitamento da luz natural nas bancadas junto às janelas, uma vez que os índices aferidos foram superiores a 300 lux, valores aceitáveis para a realização de atividades de menor precisão, já que o uso de laboratório exige 500 lux. Os valores superiores a 300 lux foram aferidos nas quatro medições, independente da condição do céu. Nesse caso, seria possível desligar 6 luminárias através do aproveitamento de luz natural, porém, assim como na sala de aula, o sentido dos circuitos não se dá em direção às esquadrias, impossibilitando o aproveitamento com redução do uso de luz artificial nas condições atuais. A figura 46 apresenta a planta com os valores de iluminância aferidos no laboratório.

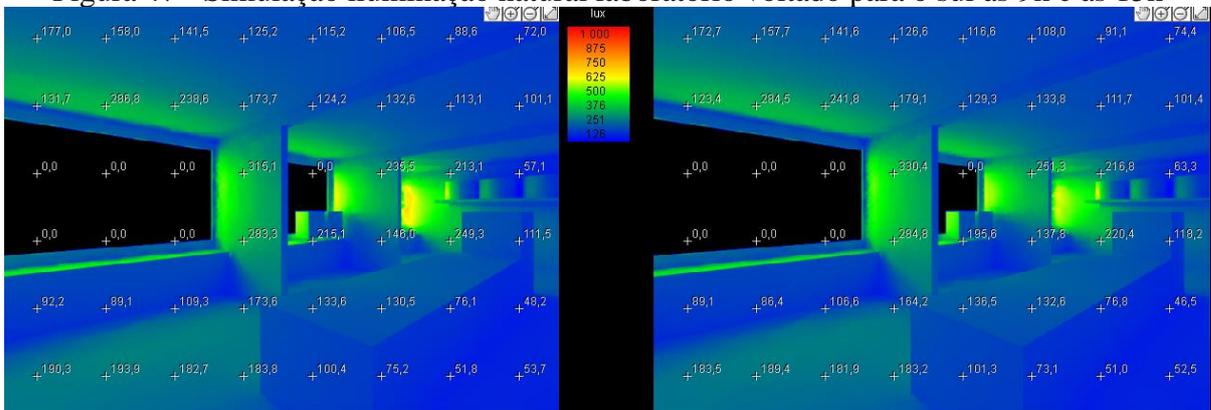
Figura 46 - Níveis de iluminância natural no laboratório de operações unitárias



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Conforme a simulação, há condições para o aproveitamento da luz natural nas bancadas junto às janelas, com níveis de iluminância similares aos reais, entretanto, atrelada à modificação do sentido de acionamento das luminárias. Os níveis encontrados são suficientes para atividades de menor precisão junto às janelas, sendo que no restante do laboratório há necessidade de utilização da iluminação artificial para atender aos índices de iluminância. A figura 47 apresenta a simulação do laboratório no solstício de inverno.

Figura 47 - Simulação iluminação natural laboratório voltado para o sul às 9h e às 15h



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O próximo ambiente avaliado foi o laboratório de processos químicos, que está localizado no pavimento térreo, com orientação solar para o norte. Os valores de iluminação natural aferidos em uma das bancadas próximas às esquadrias permitem o aproveitamento no outono e primavera, enquanto o restante do laboratório deve ser suplementado pela iluminação artificial. Durante o verão, o laboratório recebe radiação solar direta pela parte da tarde e, atualmente, há a utilização de papel pardo para regular a luminosidade no ambiente, evidenciando a necessidade de dispositivos de sombreamento nesse laboratório, conforme demonstrado na figura 48.

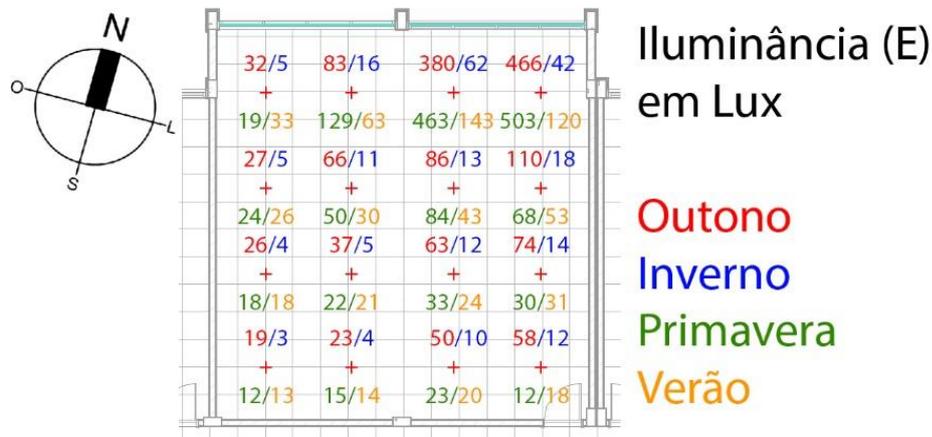
Figura 48 - Vista interna do laboratório em um dia de outono durante à tarde



Fonte: Fotografia do autor (2021).

No inverno, os índices encontrados foram insuficientes para o aproveitamento, assim como no verão, devido ao sombreamento da barreira vegetal. Também haveria a necessidade de alteração no acionamento das luminárias visando a redução de consumo. A figura 49 apresenta a planta com os valores de iluminância aferidos no laboratório.

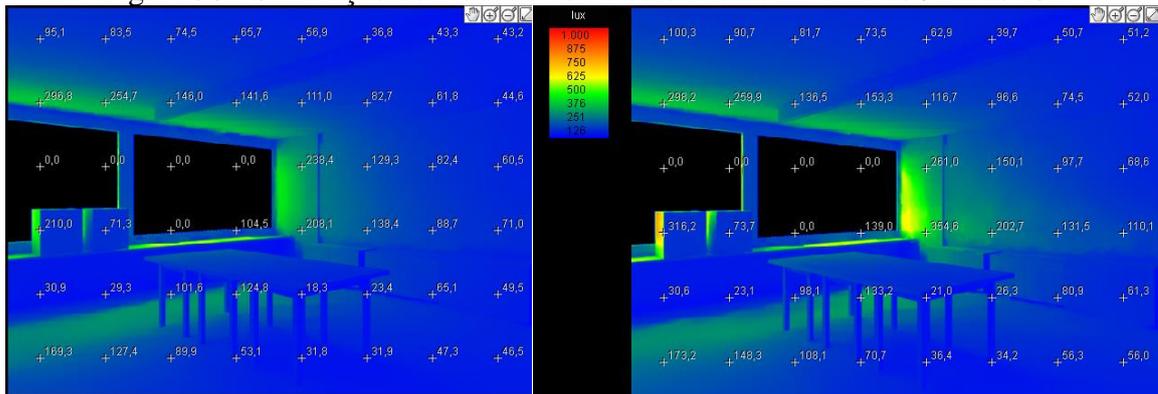
Figura 49 - Níveis de iluminância natural no laboratório de processos químicos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Pela simulação, o aproveitamento de luz natural para as atividades de laboratório (500 lux) não é atingido durante o inverno. A figura 50 demonstra a simulação no solstício de inverno.

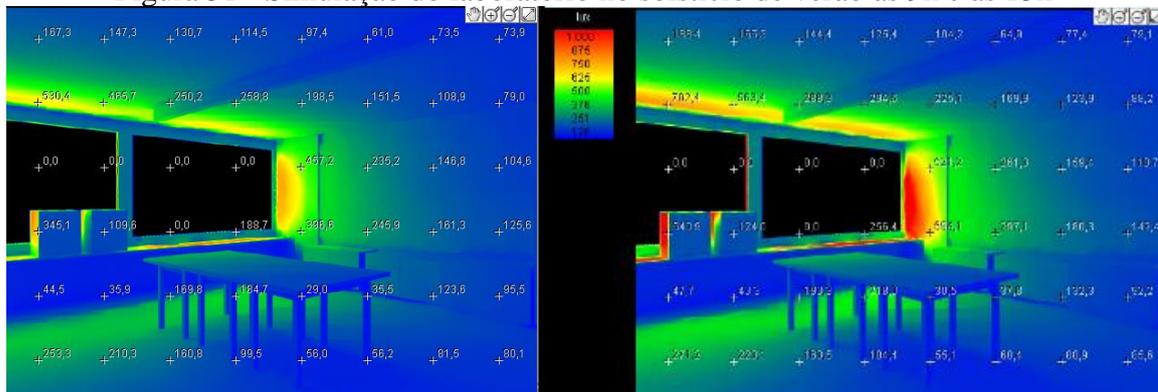
Figura 50 - Simulação do laboratório no solstício de inverno às 9h e às 15h



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na simulação do solstício de verão, os valores de iluminância próximos às janelas até atingem a faixa de 500 lux, necessários para as atividades de laboratório tanto na parte da manhã, quanto na parte da tarde. Entretanto, a carga térmica pela incidência direta de luz solar produzirá o aumento de temperatura no ambiente e, também, o ofuscamento na superfície, pois as bancadas junto à janela são de granito polido, ou seja, a luminância (luz refletida) afetaria a execução das tarefas. A figura 51 demonstra a simulação.

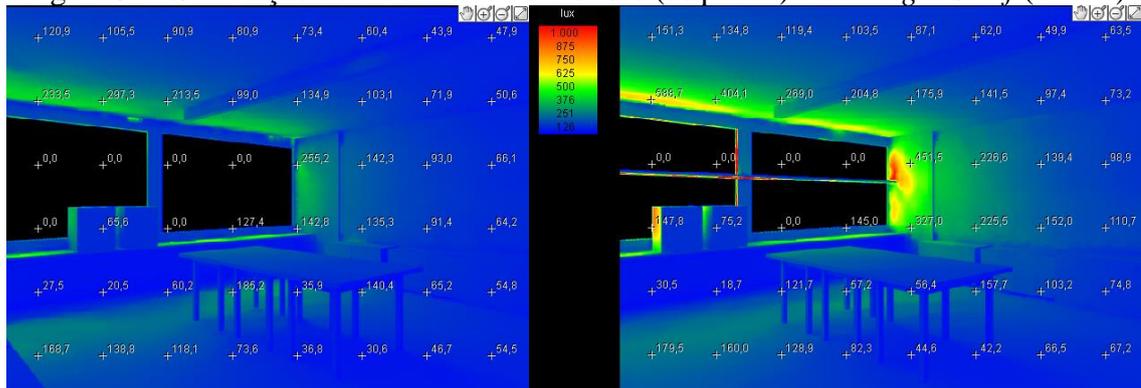
Figura 51 - Simulação do laboratório no solstício de verão às 9h e às 15h



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Os valores aferidos *in-loco* e os valores simulados apresentam diferenças, porém encontram-se em faixas similares de iluminância. A barreira de vegetação reduz os níveis de iluminação natural no verão devido à orientação solar do edifício. A simulação permitiu visualizar a distribuição da luz nos espaços internos e avaliar quais estratégias podem ser utilizadas para mitigar a carga térmica sem prejudicar o aproveitamento da luz natural e também quais elementos são responsáveis pelo sombreamento dos ambientes. Após a simulação da situação atual, foi realizada uma nova simulação com dispositivos de sombreamento dos tipos *brise-soleil* e *light-shelf* a fim de avaliar seus impactos na iluminação natural, conforme figura 52.

Figura 52 - Simulação do laboratório com brises (esquerda) e com *light-shelf* (direita)



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Se os materiais dos brises forem opacos, a iluminação natural será prejudicada, apesar da compensação em relação à carga térmica, enquanto a *light-shelf* permite reduzir parte da carga térmica e distribuir luz difusa através do teto do laboratório, que possui cores claras. Além disso, essa estratégia pode reduzir o ofuscamento nas bancadas de trabalho junto às janelas. Nas salas voltadas para o norte, recomenda-se a instalação de dispositivos de sombreamento para a redução da carga térmica. Com o objetivo de não prejudicar os níveis de iluminação natural, os protetores solares podem utilizar chapas perfuradas ou materiais translúcidos, como já utilizados em outros edifícios do Campus I, demonstrados na figura 53.

Figura 53 - Exemplo de *brises-soleil* utilizado no Campus I



Fonte: Fotografia do autor (2021).

Assim como no estudo de Morsch et al. (2017), verificou-se a possibilidade de aproveitamento parcial da iluminação natural, visto que nas zonas afastadas das esquadrias os níveis projetados não atenderiam aos requisitos visuais, necessitando de iluminação artificial. Em relação à simulação, o software Velux apresentou boa interoperabilidade com o modelo do Autodesk Revit, permitindo simular, inclusive, o impacto de dispositivos de sombreamento nos níveis de iluminação natural dos ambientes.

Também foi possível aproveitar o mobiliário modelado no software BIM de forma que a modelagem permitirá avaliar quais estratégias são mais adequadas para reduzir a carga térmica, sem prejudicar os níveis de iluminância. Antes das simulações definitivas, foram realizadas simulações preliminares para testar a interferência do modelo 3D do maciço de vegetação nos resultados, mesmo não sendo possível modelá-lo com precisão, a interferência ocorreu e permitiu simular situações próximas à realidade, sobretudo nas situações de solstício de inverno, em que haverá maior impacto desse sombreamento.

Por fim, conclui-se que algumas das salas do edifício permitem aproveitamento da luz natural para realização de tarefas simples próximas as janelas, que exijam valores de iluminância na faixa de 300 lux, com exceção do período de inverno e em alguns ambientes no pavimento térreo durante o verão, onde os índices encontrados ficaram abaixo do necessário. Nas salas voltadas para sul, não há necessidade de dispositivos de sombreamento, sendo possível aproveitar a luz difusa para tarefas de menor precisão, já que há, também, salas administrativas, de professores e os sanitários nessa orientação. Esse aproveitamento estaria condicionado à alteração do sentido de acionamento das luminárias existentes para adoção de iluminação suplementar, bem como a possibilidade de instalar sensores para ajustar o sistema conforme a disponibilidade de luz natural. No estudo de Moadab (2021), a automação permitiria uma redução de 10% no consumo por meio de sensores de desligamento.

4.2.3 Sistema de iluminação artificial

As condições do sistema de iluminação artificial foram verificadas *in-loco* e simuladas no software Dialux. Foram aferidos os níveis de iluminância dos ambientes, sendo o levantamento realizado à noite para que não houvesse interferência da iluminação natural nos resultados. Para as avaliações e simulações foram escolhidos os mesmos laboratórios e sala de aula avaliados pela iluminação natural. As características de cores e refletância das superfícies nos espaços internos também influenciam nos níveis de iluminância, em geral, o edifício apresenta características uniformes em seus ambientes. Os pisos são em cerâmica de cores claras, com exceção das salas de aula, onde o piso é em parquet escuro, as paredes são pintadas com cores claras e as divisórias leves seguem o mesmo padrão de cores, sendo os tetos também pintados com cores claras.

Conforme levantamento, a sala de aula 103 possui um sistema composto por dezesseis luminárias com duas lâmpadas fluorescentes de 32W e fluxo luminoso de 2350 lúmens, caracterizando uma densidade de potência de iluminação de 14,92 W/m². A capacidade da sala

é de 56 alunos, gerando um consumo per capita de 18,28W por usuário. As fileiras de luminárias são ligadas e desligadas em sentido paralelo ao quadro e ao retroprojetor. Foi constatado o uso de lâmpadas de diferentes temperaturas de cor, criando um ambiente heterogêneo visualmente, além disso, o sentido de instalação das luminárias gera zonas de sombra junto ao forro, criando contraste visual, conforme figura 54.

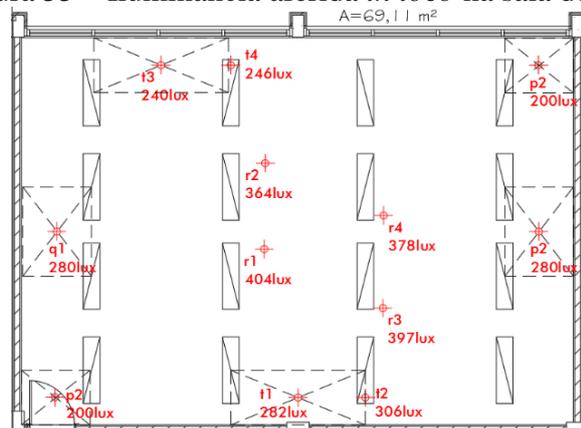
Figura 54 - Vistas da sala de aula teórica



Fonte: Fotografia do autor (2021).

De acordo com a NHO 11 (FUNDACENTRO, 2018), o contraste excessivo e a distribuição não favorável das luminância geram áreas brilhantes no campo de visão, podendo causar ofuscamento, que resulta em fadiga visual. Para Diawuo (2020), a qualidade de iluminação não está somente relacionada à execução de tarefas, mas também à saúde, ao humor e ao estado de alerta, portanto, o efeitos do sistema de iluminação não se restringe ao uso específico do ambiente. O maior valor de iluminância encontrado foi de 404 lux e o menor de 200 lux, sendo os maiores valores aferidos nas áreas centrais, conforme figura 55. A iluminância média calculada foi de 333,35 lux, em desacordo com o valor estipulado por norma de 500 lux para salas de aula noturnas, indicando a necessidade de adequação do sistema de iluminação existente, tanto para atingir a iluminância média, quanto para padronizar a temperatura de cor e reduzir os contrastes.

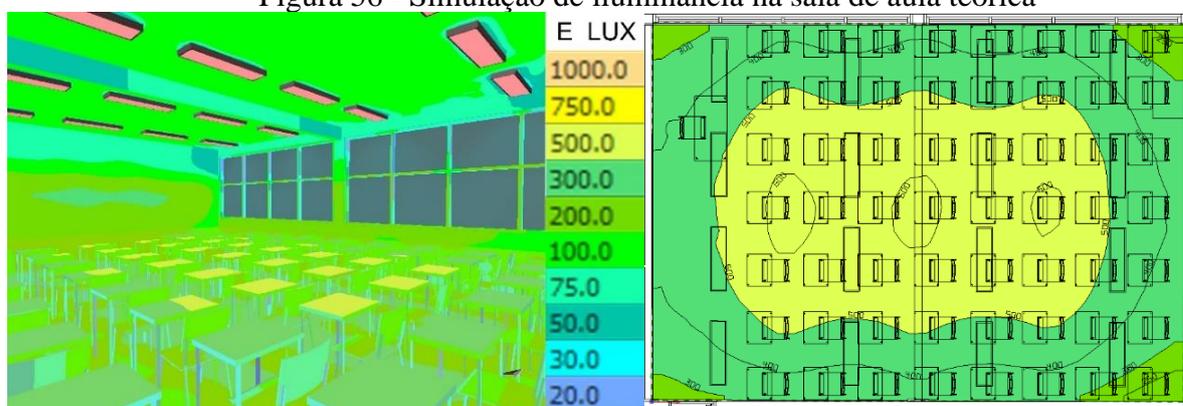
Figura 55 – Iluminância aferida *in loco* na sala de aula



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Após a medição no local, o ambiente foi simulado no software Dialux. A sala de aula teórica demonstrou uma distribuição homogênea da iluminância sobre área de trabalho, bem como evidenciou as zonas sombreadas. Contudo, também demonstrou que os níveis encontrados estão abaixo do simulado pelas características do ambiente, indicando a queda de iluminância dos equipamentos decorrente da redução da vida útil, sendo necessária a substituição das lâmpadas existentes. A partir da simulação pelo Dialux, foi gerada uma planta baixa com curvas “isolux” a fim de representar as faixas de iluminância no ambiente. Os valores encontrados na área das classes estavam adequados à NHO 11, entretanto, a iluminância média da simulação foi de 468 lux, abaixo dos 500 lux exigidos pela norma. A figura 56 demonstra a simulação de iluminância.

Figura 56 - Simulação de iluminância na sala de aula teórica



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A diferença entre os valores simulados e aferidos deve-se à redução da vida útil das luminárias pela diminuição do fluxo luminoso. Nesse ponto, as luminárias de LED apresentam menor redução desse aspecto em relação às lâmpadas fluorescentes, além de uma vida útil superior. Apesar da diferença entre os valores simulados e aferidos, a distribuição da iluminância na superfície de trabalho foi homogênea e, para atingir o nível de 500 lux, será necessário alterar a quantidade ou a altura de instalação das luminárias.

A avaliação seguinte foi realizada no laboratório de operações unitárias. O sistema é composto por 18 luminárias com aletas cromadas, com duas lâmpadas fluorescentes de 32W e fluxo luminoso de 2350 lúmens, gerando uma densidade de potência de 12,63 W/m². O laboratório pode ser utilizado por até 20 alunos, gerando um consumo per capita de 28,8W por usuário. As medições *in loco* demonstraram que na bancada central os valores de iluminância foram próximos a 265 lux. Nas bancadas das janelas, os valores foram inferiores a 200 lux e a iluminância média calculada foi de 247 lux, em desacordo com NHO11. A figura 57 apresenta o sistema de iluminação do laboratório.

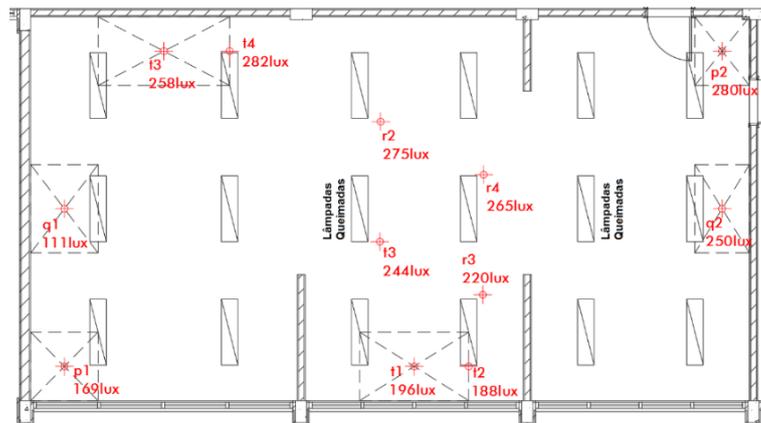
Figura 57 - Sistema de iluminação artificial no laboratório de operações unitárias



Fonte: Fotografia do autor (2021).

. Cabe salientar que duas luminárias na área central estavam com as lâmpadas queimadas na data da medição, mesmo assim, os valores encontrados nos demais pontos de medição foram insuficientes e sequer atingiram a faixa de 300 lux para a realização de atividades simples, o que demonstra a necessidade de instalação de mais luminárias no ambiente. A figura 58 apresenta as medições do laboratório de operações unitárias.

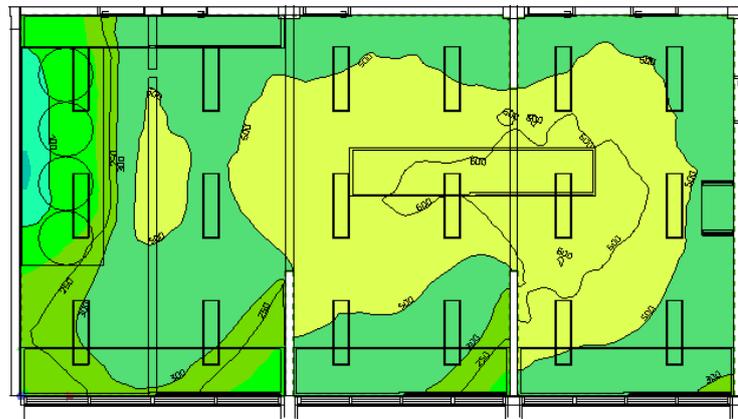
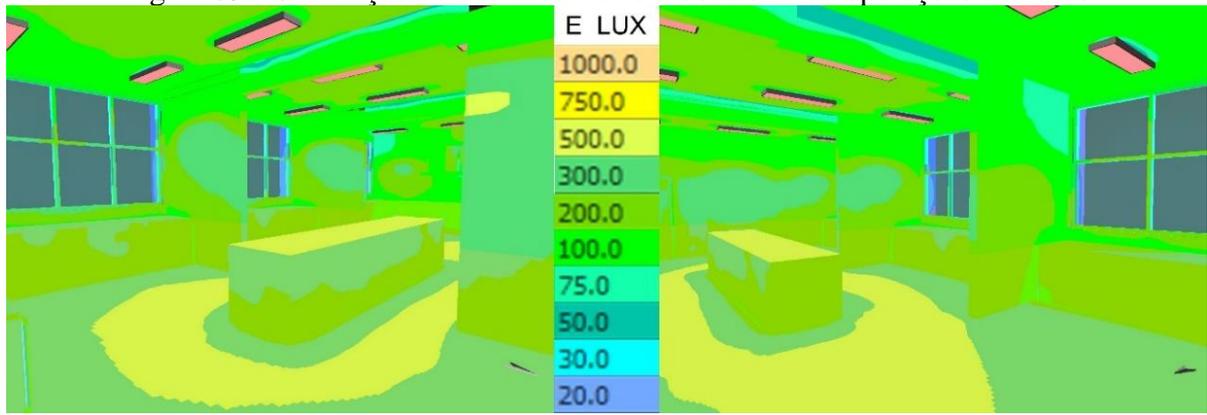
Figura 58 - Iluminância aferida *in loco* no laboratório de operações unitárias



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A simulação demonstrou que a bancada central do laboratório atinge os valores na faixa de 500 lux. Porém, nas bancadas junto às janelas, os valores ficaram entre 300 e 400 lux e, na área junto aos reservatórios, os índices foram menores, na faixa de 100 lux. Em função disso, a iluminância média simulada foi de 406 lux, conforme figura 59. Portanto, para adequar os índices de iluminância no laboratório, além da substituição das lâmpadas, devem ser realizados ajustes na altura das luminárias, a modificação do layout ou, ainda, com a instalação de iluminação suplementar sobre as bancadas de trabalho próximas às janelas, de modo a compensar o sombreamento gerado pelos equipamentos e que reduz a iluminância média do laboratório.

Figura 59 - Simulação de iluminância no laboratório de operações unitárias



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A última avaliação foi realizada para o laboratório de processos químicos. O sistema é composto por 16 luminárias com duas lâmpadas fluorescentes de 32W e fluxo luminoso de 2350 lúmens, gerando uma densidade de potência de $14,94 \text{ W/m}^2$. O laboratório pode ser usado por até 30 alunos, produzindo um consumo per capita de 17W por usuário. A temperatura de cor das lâmpadas também é heterogênea e algumas zonas de sombreamento ocorrem nas paredes, porém, com menor intensidade do que na sala de aula. A figura 60 apresenta o sistema de iluminação do laboratório.

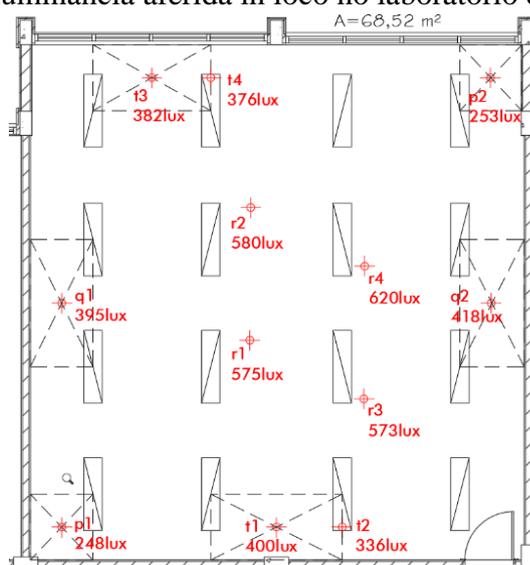
Figura 60 - Sistema de iluminação artificial no laboratório de processos químicos



Fonte: Fotografia do autor (2021).

As medições *in loco* demonstraram que na bancada central do laboratório os valores de iluminância estão acima de 500 lux. Nas bancadas ao redor do laboratório, os valores aferidos foram acima de 300 lux, dentro da faixa aceitável para áreas de entorno imediato à tarefa. A iluminância média calculada foi de 502 lux, em acordo com a NHO11. Dessa forma, seria apenas necessária a substituição de lâmpadas visando a redução do consumo, uma vez que os níveis de iluminância aferidos ficaram em conformidade com a norma, conforme figura 61.

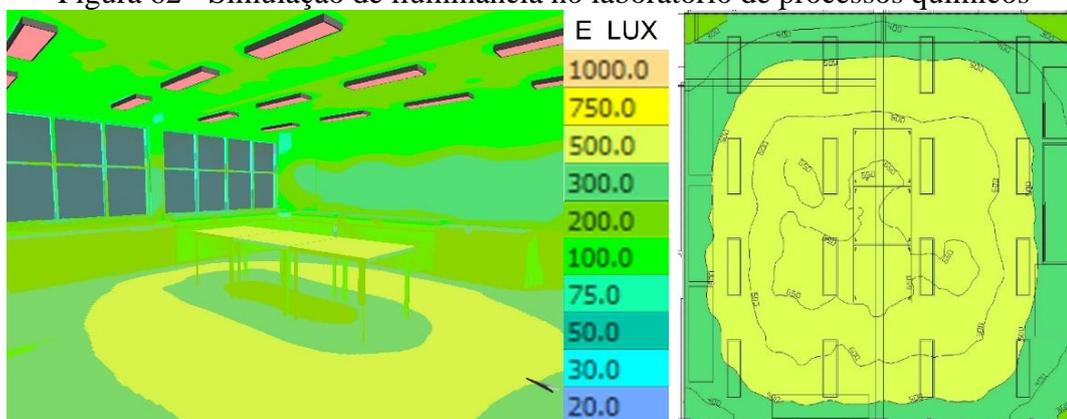
Figura 61 – Iluminância aferida *in loco* no laboratório de processos químicos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Após a medição, foi realizada a simulação, a qual demonstrou que a bancada central está adequada dentro da faixa de 500 lux. As bancadas nas laterais e sobre as janelas apresentaram iluminância a partir de 300 lux, com valores em torno de 450 lux nas bancadas das paredes, nesse caso, a instalação de iluminação suplementar sobre as bancadas das janelas poderia aumentar a iluminância nas áreas de trabalho. A figura 62 demonstra a simulação no laboratório.

Figura 62 - Simulação de iluminância no laboratório de processos químicos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A proximidade entre valores simulados e aferidos, nesse caso, ocorre pelo fato de o laboratório ter sido implantado nos últimos 5 anos (no projeto original do edifício, o espaço foi projetado e utilizado durante um período como uma sala de aula teórica). Então, as lâmpadas utilizadas, possivelmente, apresentam vida útil maior do que nos outros ambientes aferidos. A iluminação é distribuída de forma homogênea no ambiente e o sentido de instalação das luminárias também não gera menos contraste visual em relação às paredes.

Através do Dialux, foi realizada a simulação dos demais ambientes, juntamente com medições *in loco* na área de tarefa. Salas administrativas e de apoio apresentaram valores de acordo com o exigido por norma, assim como a circulação e os sanitários. Neste estudo, as considerações sobre a iluminação artificial no período noturno foram aplicadas aos laboratórios utilizados para aulas, sendo desconsideradas algumas das unidades do CEPA, que possuem apenas funcionamento diurno e terão também a suplementação de iluminação natural, mesmo que difusa.

Nas medições *in loco* dos ambientes, observou-se que os índices de iluminância da sala de aula e do laboratório de operações unitárias foram menores, indicando a necessidade de substituição das lâmpadas e modificação do sistema de iluminação. Além da medição de iluminância, também foi realizada a verificação de inconsistências de iluminação artificial, através do checklist proposto pela NHO11 (FUNDACENTRO, 2018), apresentada no quadro 2.

Quadro 2 – Checklist de inconsistências do sistema de iluminação:

Aspecto	Ocorrência	Recomendações
Efeito estroboscópico	Não	Instalar fontes de iluminação adjacentes; substituir tipo de iluminação
Cintilação	Não	Substituição de lâmpadas; verificação do circuito elétrico
Iluminação insuficiente na área de tarefa	Sim	Substituição de lâmpadas; limpeza de luminárias e lâmpadas; uso de cores claras no ambiente; redução do espaçamento entre luminárias, iluminação suplementar
Iluminação irregular ou não uniforme	Sim	Substituição de lâmpadas; limpeza de luminárias e lâmpadas; redução do espaçamento entre luminárias, remoção de objetos que bloqueiem a iluminação
Iluminação excessiva pelo sistema artificial	Não	Controle de incidência; aumento da altura de instalação; alteração da refletância de superfície de trabalhos; alteração da direção das luminárias
Iluminação excessiva ocasionada por luz natural	Sim	Bloqueio parcial/total com persianas ou cortinas; alteração da refletância das superfícies de trabalho; mudança de local ou posicionamento da tarefa
Brilho excessivo em áreas localizadas	Não avaliado	Uso de painéis de difusão; reposicionamento do número de lâmpadas; alteração da refletância das superfícies de trabalho
Contraste reduzido da tarefa devido a reflexões veladoras	Não	Alteração das características da superfície de trabalho, troca de local da estação de trabalhos, deslocamento das fontes luminosas que geram reflexões veladoras, iluminação suplementar
Aparência de cor	Sim	Substituir lâmpadas por outras que apresentem temperatura de cor adequada ao ambiente

Fonte: Fundacentro (2018), adaptado pelo autor.

Por fim, verificou-se a interoperabilidade dos softwares utilizados para a modelagem e simulação. O modelo em BIM no Revit foi exportado para os formatos IFC, para ser importado no Dialux, e DWG, para ser importado no Velux, permitindo modelar o edifício uma única vez, incluindo todos os ambientes em um único arquivo, reduzindo consideravelmente o tempo de modelagem, uma vez que nos softwares seria necessário modelar elementos construtivos e configurar as características dos materiais.

Como barreiras, foi percebido que o Dialux pode apresentar erros ou demora no cálculo luminotécnico quando o mobiliário é proveniente do Revit, sendo recomendado utilizar o mobiliário disponível na biblioteca do Dialux, que dispõe de modelos genéricos de fácil edição. Esse problema não foi verificado no Velux, o qual simulou as condições de iluminação com o mobiliário importado do Revit, contudo, não possui uma biblioteca própria de mobiliário.

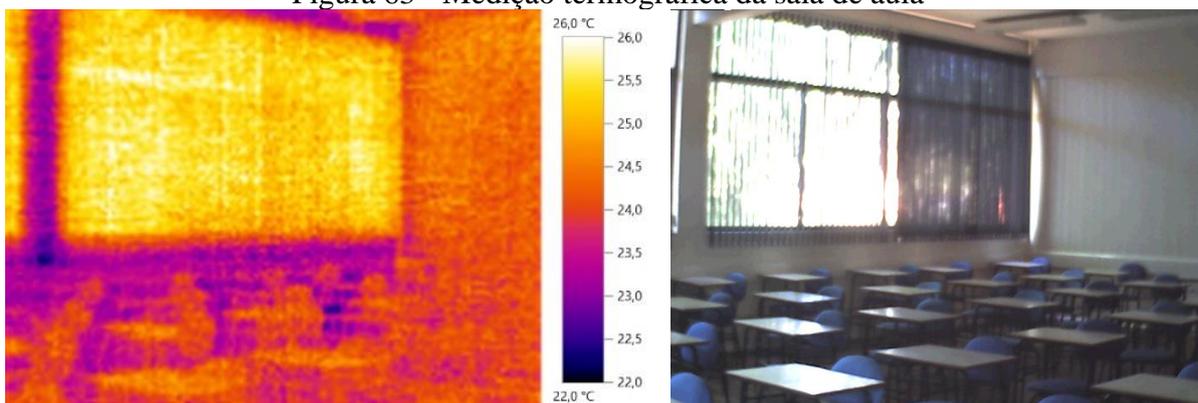
4.2.4 Desempenho térmico do fechamento vertical (opaco e transparente)

Quanto ao desempenho da envoltória do edifício, foram realizadas imagens termográficas para demonstrar a necessidade de dispositivos de sombreamento, uma vez que a avaliação de desempenho termo-energético já foi realizada por Frandoloso (2018). Como o enfoque do trabalho é a certificação de autossuficiência em energia do GBC Brasil, o atendimento na autossuficiência em energia *on-site* (geração de energia no local) dispensa a avaliação de envoltória pelo método RTQ-C, portanto, esta seção demonstrará aspectos relacionados a esquadrias e sombreamento.

As imagens foram geradas nos seguintes dias e condições climáticas: 19 de maio de 2021, outono com céu ensolarado; 23 de junho de 2021, inverno com céu nublado; 16 de setembro de 2021, primavera com céu nublado e 23 de dezembro de 2021, verão com céu ensolarado. A seguir serão apresentadas as imagens termográficas de verão, as quais foram aferidas na data do solstício, dia de maior incidência de radiação solar no ano e, as demais medições são apresentadas no Apêndice A deste trabalho.

Na sala de aula localizada no pavimento térreo e com orientação norte, a barreira de vegetação influencia na incidência de irradiação no ambiente. Mesmo com a presença de persianas, a maior temperatura aferida foi na superfície de vidro das janelas, 26,2°C e a menor 22,2°C junto ao peitoril. Um dispositivo de sombreamento externo poderia ser instalado para regular a incidência de radiação no ambiente, que não conta com climatizadores de ar, apenas ventiladores. A figura 63 apresenta a medição termográfica da sala de aula.

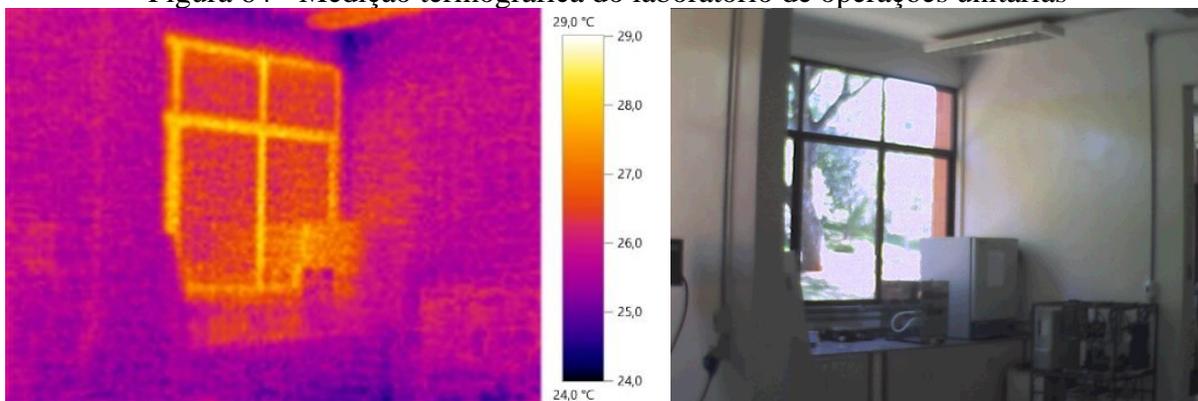
Figura 63 - Medição termográfica da sala de aula



Fonte: Fotografia do autor (2021).

No laboratório de operações unitárias, a medição foi realizada à tarde, quando não há incidência de irradiação solar nas esquadrias. Mesmo sem a incidência direta, na superfície do vidro, a temperatura aferida foi $28,4\text{ °C}$ e, próximo ao teto, o valor foi de $24,5\text{ °C}$. Nesse ambiente, não é necessária a instalação de dispositivos de sombreamento, porém, deve ser considerada a climatização do ambiente, tendo em vista as perdas térmicas que podem ocorrer durante os dias frios, do interior para o exterior. A figura 64 apresenta a medição termográfica no laboratório.

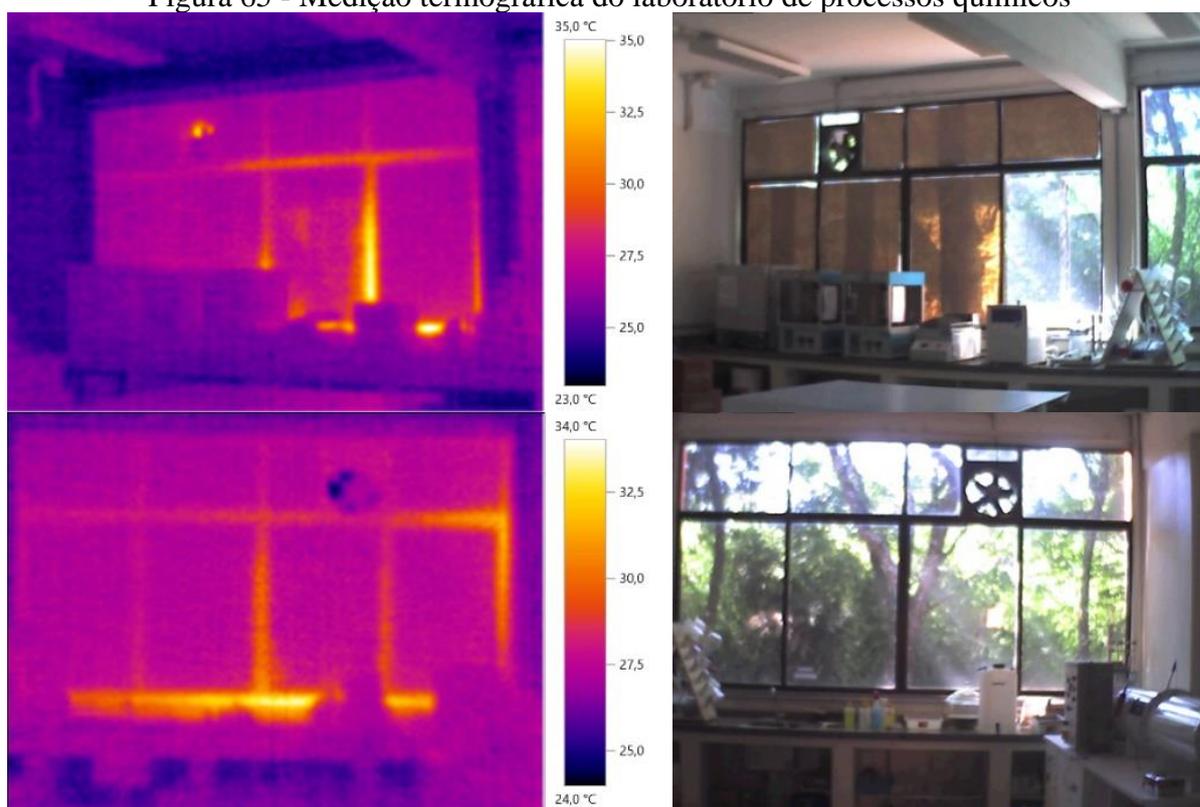
Figura 64 - Medição termográfica do laboratório de operações unitárias



Fonte: Fotografia do autor (2021).

No laboratório de processos químicos, parte das esquadrias está coberta com papel pardo para reduzir a incidência solar no ambiente, indicando a necessidade de dispositivos de sombreamento externos, como brises ou películas refletivas nos vidros, ou ainda internos, como persianas. As temperaturas atingiram $34,9\text{ °C}$ na superfície das esquadrias, enquanto o ponto mais frio, junto ao teto, registrou $23,3\text{ °C}$, uma diferença de $11,6\text{ °C}$. A figura 65 apresenta as medições termográficas no ambiente.

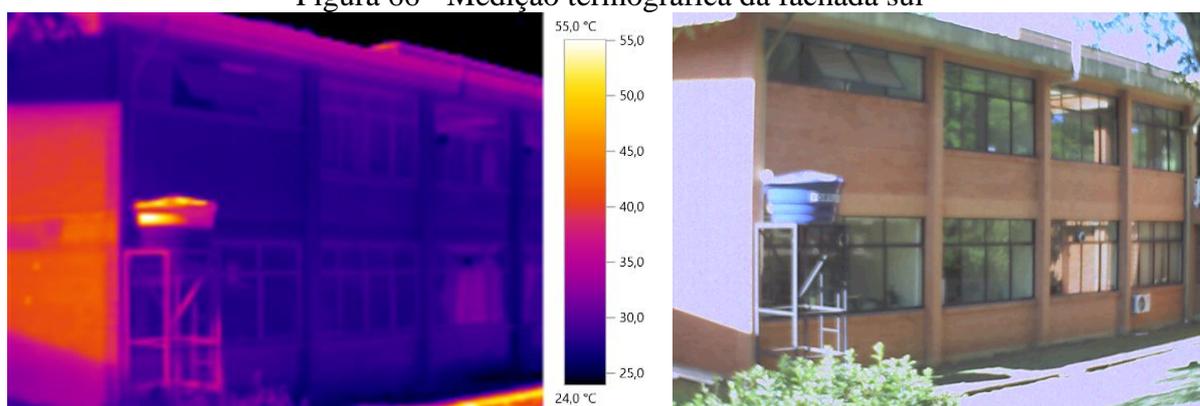
Figura 65 - Medição termográfica do laboratório de processos químicos



Fonte: Fotografia do autor (2021).

Na fachada sul, com menor incidência de radiação, as temperaturas registradas na superfície das paredes durante a tarde foram de 28,1°C, sendo que no trecho de parede com orientação oeste, as temperaturas atingiram 42,1°C. A figura 66 apresenta as medições da fachada.

Figura 66 - Medição termográfica da fachada sul

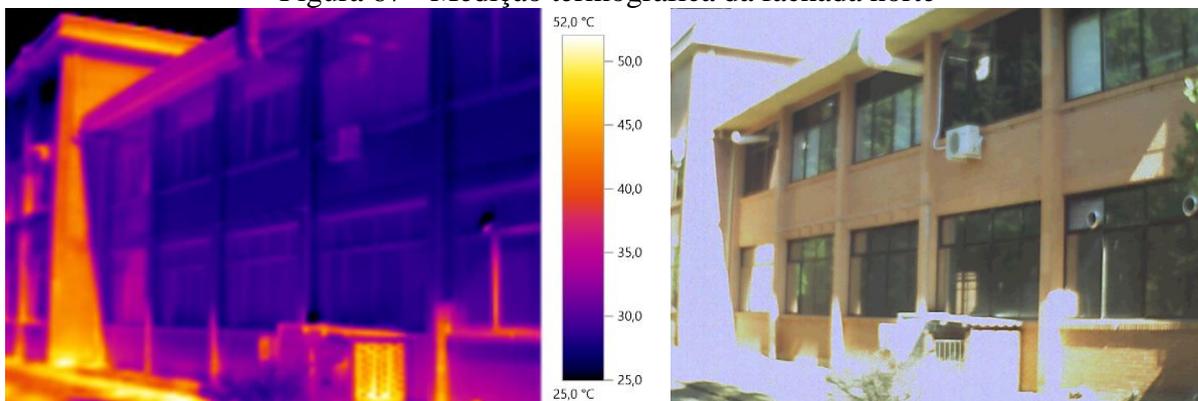


Fonte: Fotografia do autor (2021).

Na fachada norte, de maior incidência solar, a barreira de vegetação projeta sombras em trechos da fachada, assim como o beiral da cobertura, que projeta sombra em partes das esquadrias. A temperatura de superfície da fachada atingiu 50,9°C, nos trechos sombreados, a

temperatura mínima foi de 26,3°C, uma diferença de 24,6°C em uma mesma orientação de fachada. A figura 67 apresenta as medições para a fachada norte.

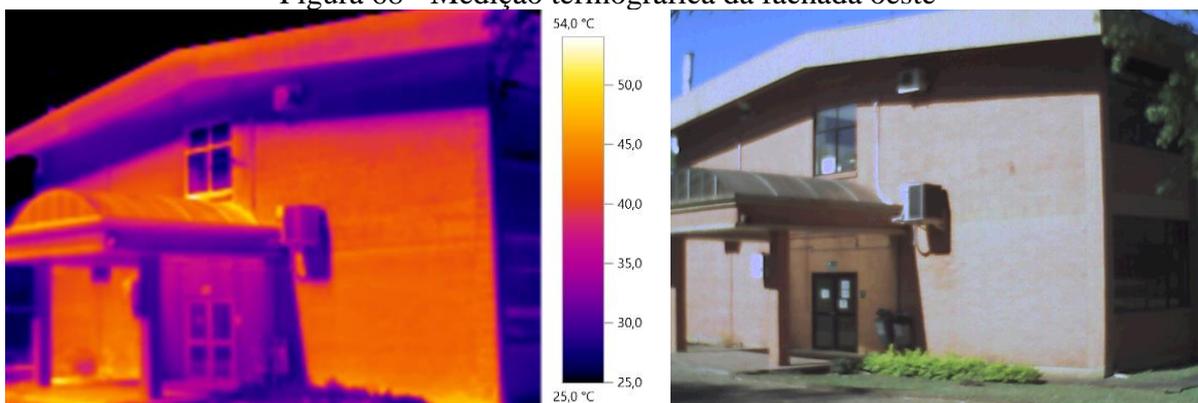
Figura 67 - Medição termográfica da fachada norte



Fonte: Fotografia do autor (2021).

Na fachada oeste, a temperatura da superfície da parede externa atingiu 48,1°C, sendo que a mesma parede à sombra apresentou valores na faixa dos 27,3°C, cerca de 20,8°C de amplitude térmica em uma mesma superfície. Com menor área em relação à fachada norte, a fachada oeste impacta no conforto ambiental de 4 ambientes e poderia receber medidas para redução da carga térmica por meio de estratégias, como fachada ventilada, aumento da espessura da parede, aplicação de revestimentos com desempenho térmico superior ou, ainda, sombreamento a partir de uma barreira de vegetação. A figura 68 apresenta as medições da fachada oeste.

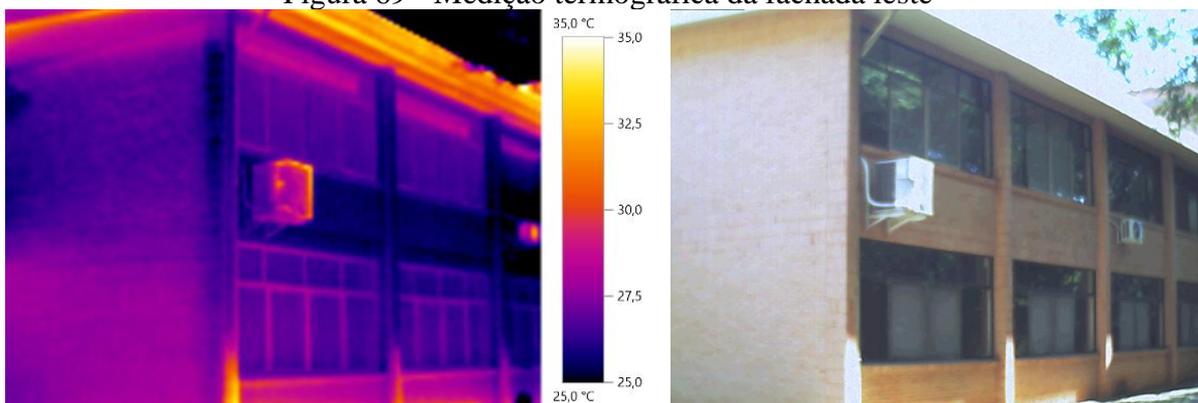
Figura 68 - Medição termográfica da fachada oeste



Fonte: Fotografia do autor (2021).

Na fachada leste, às 15h não há mais incidência de radiação solar direta, além disso, há a influência da barreira de vegetação no sombreamento. A maior temperatura de superfície foi de 31,4°C junto ao beiral do telhado e, a menor temperatura atingiu 25,4°C. A figura 69 apresenta as medições da fachada leste.

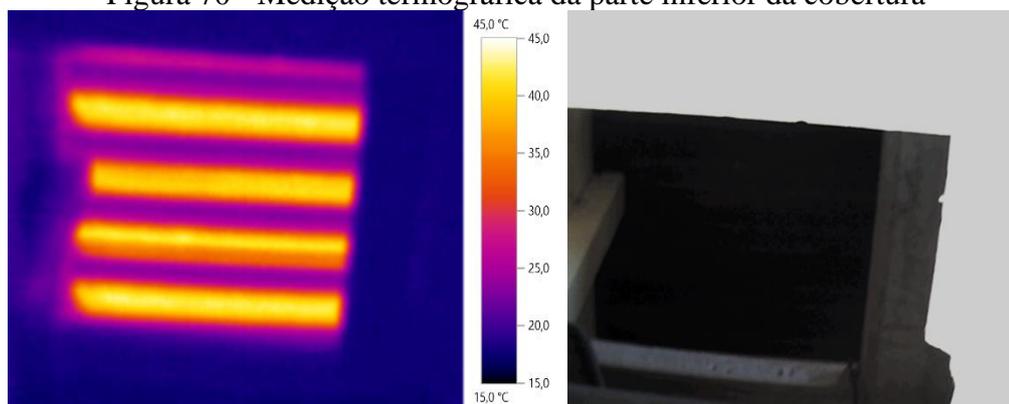
Figura 69 - Medição termográfica da fachada leste



Fonte: Fotografia do autor (2021).

Também foi realizada uma medição na superfície inferior do telhado a partir do poço de inspeção. A temperatura aferida atingiu 42,8°C às 15h de um dia de outono, sendo que no restante do edifício há uma camada de ar entre o telhado e a laje de cobertura. No período do verão, a abertura no forro já havia sido fechada, impossibilitando a medição. A figura 70 apresenta a medição da parte inferior do telhado.

Figura 70 - Medição termográfica da parte inferior da cobertura



Fonte: Fotografia do autor (2021).

Conclui-se que o edifício necessita de melhorias referentes ao conforto térmico. Conforme Mählmann (2018), *brises-soleil*, beirais e isolamento térmico são recursos para reduzir a carga térmica de um edifício de forma complementar à orientação solar e à ventilação natural, aproveitando o clima para maximizar o conforto interno. A modo de comparação com estudos similares, o edifício V2 da UPF, com faces maiores nas orientações leste e oeste, já foi projetado com dispositivos de proteção solar, utilizando *brises-soleil verticais* no segundo e terceiro pavimentos, demonstrando a incorporação desses elementos na arquitetura dos edifícios mais recentes do Campus I da UPF para melhoria das condições de conforto e eficiência energética, porém ainda insuficiente para atingir níveis ideais de conforto térmico (FRANDOLOSO, 2020).

Como alternativa para a melhoria do desempenho termo energético do edifício, primeiramente, devem ser considerados dispositivos de sombreamento nas esquadrias da fachada norte a fim de reduzir a carga térmica, preferencialmente, sem prejudicar os níveis de iluminação natural dos ambientes. Nas fachadas leste e oeste podem ser utilizadas estratégias para o aumento da transmitância térmica (ampliando o tempo para que o calor externo absorvido seja transferido para o ambiente interno), como revestimentos externos ou vegetação para reduzir a carga térmica. Nos ambientes com orientação para sul, deve ser considerado o uso de equipamentos de climatização para compensar possíveis perdas térmicas durante os períodos de frio, salientando que os climatizadores também contribuem no controle de umidade e qualidade do ar interno. Quanto à cobertura, a avaliação de Frandoloso (2018) indica a necessidade de melhoria nesse requisito de envoltória.

A forma do edifício também influencia no desempenho energético, visto que formas compactas reduzem a superfície de fachada, portanto, diminuem as áreas de perdas e ganhos térmicos de modo que formas retangulares e alongadas apresentam maior variação térmica em relação a edifícios de forma cúbica (MÄHLMANN, 2018). No caso do L1, a forma retangular propicia o ganho térmico da fachada norte em detrimento a da perda de calor da fachada sul, sendo ainda influenciada pela barreira de vegetação, a qual produz a redução de carga térmica apenas em parte da edificação em alguns períodos do ano, justificando a adoção de outros dispositivos complementares. Conforme Costa, Alvarez e Martino (2021), o aumento da área de pavimento e a redução do número de andares de um edifício podem contribuir para um menor consumo de energia, pois reduz as superfícies com incidência de radiação solar.

Além disso, a utilização de softwares de simulação para o projeto de novas edificações pode auxiliar na redução de consumo previamente à fase de construção. Didoné, Wagner e Pereira (2014) obtiveram a redução de 50% no consumo para um edifício modelo simulado em Florianópolis e Fortaleza. Outras simulações de desempenho térmico obtiveram 31% de melhorias relativas à eficiência energética (COSTA, ALVAREZ E MARTINO, 2021). Desse modo, a simulação é recomendada, principalmente, para a fase de projeto, permitindo que os edifícios sejam dimensionados com um menor consumo de energia em relação aos seus aspectos formais e construtivos, reduzindo custos para torná-los autossuficientes na fase de operação. Ainda, para Piccardo, Dadoo e Gustavsson (2020), os materiais selecionados para a envoltória do edifício afetam o nível de emissões durante o ciclo de vida das edificações, inclusive das que passam por retrofit.

A geração de energia renovável nunca será suficiente enquanto os edifícios forem energeticamente ineficientes, portanto, a consolidação dos NZEBs depende de regulamentos e

normativas, investimentos em pesquisa, instrumentos de avaliação e controle, além de subsídios para ações de eficiência energética (COLLADO et al., 2019). Dessa maneira, a eficiência energética aplicada à concepção, execução e operação dos edifícios é parte indissociável do conceito de autossuficiência em energia.

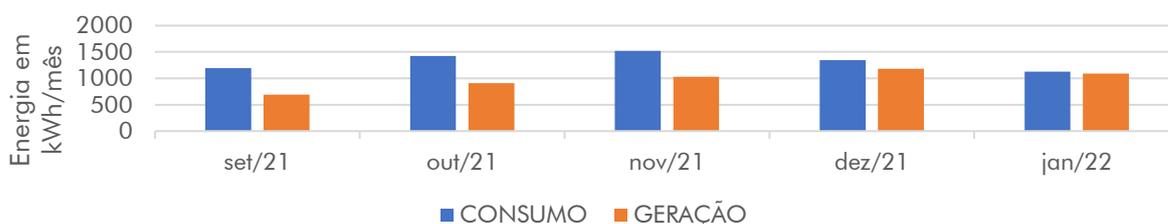
4.2.5 Geração de energia renovável

A geração de energia renovável no edifício foi aferida durante um ano de modo a verificar o desempenho do sistema para projetar os cenários de autossuficiência. O valor máximo de geração diária foi de 47,28kWh em janeiro e, a mínima, de 0,91kWh em setembro. No primeiro ano de operação, o sistema gerou 8.595,52 kWh de energia, uma média de 716,29 kWh/mês, salientando que a capacidade do sistema foi dobrada após quatro meses do início de operação. Considerando os meses com capacidade total, a média foi de 906,73 kWh/mês.

A média de 906,73 kWh/mês representa 68,5% da média de consumo (1.321,80kWh), sendo superior a 50% da demanda atual, demonstrando a viabilidade de transformar o edifício em um NZEB. No mês de dezembro, o sistema atingiu o maior valor de geração, de 1.185,18 kWh/mês, que representa 89,66% do consumo médio atual. Em janeiro, mês com menor utilização do prédio, a geração representou 96,69% do consumo, quase atingindo a autossuficiência. Porém, como a geração de energia no período de inverno é menor (em junho a geração foi de 671,62kWh, equivalente a 50,8% do consumo médio), o sistema deve ser projetado para compensar o consumo anual através da geração de verão através de créditos de energia ou, para atender a demanda através do autoconsumo a fim de que o sistema atenda completamente a demanda no período de menor geração.

Para Rabani, Madessa e Nord (2021), o autoconsumo no edifício é preferível ao invés de exportar a energia do edifício, pois ao injetar a energia na rede, haverá a incidência de tarifas para exportá-la e importá-la. Atualmente o edifício L1 utiliza autoconsumo para o laboratório de operações unitárias. A figura 71 apresenta o comparativo entre consumo e geração nos últimos 5 meses (meses de consumo foi fornecido pelo setor de sistemas elétricos da UPF).

Figura 71 – Comparativo entre consumo e geração de energia *in loco*.

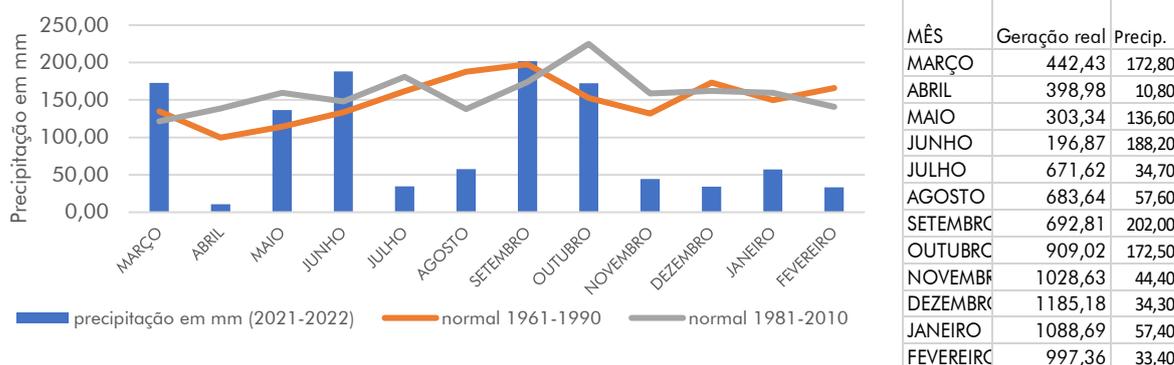


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Dentre os fatores que podem afetar a geração do sistema estão o sombreamento e as condições climáticas. Em áreas urbanas densas, o sombreamento constitui o maior desafio, uma vez que as sombras de árvores ou de outros edifícios, mesmo que de modo parcial, podem levar a perdas de 20% na geração (SAILOR, ANAND E KING, 2021). No caso do edifício L1, o sombreamento pode ocorrer pela própria volumetria do prédio e pela barreira de vegetação, visto que não há outras edificações próximas que projetem sombras sobre os telhados.

Variáveis como a precipitação e a nebulosidade também reduzem a geração de energia fotovoltaica (CAMPOS E ALCÂNTARA, 2016), porém, conforme os dados levantados no estudo, a precipitação não foi um fator preponderante para reduzir a geração de energia. Por exemplo, no mês de setembro ocorreu uma precipitação quase 4 vezes superior à registrada em agosto, no entanto, a geração de energia apresentou valores similares ao mês anterior. Também é necessário salientar que no período analisado, a precipitação mensal em 7 dos 12 meses esteve muito abaixo das normais climatológicas do município de Passo Fundo. A figura 72 apresenta os dados de precipitação de Passo Fundo e de geração de energia no período analisado.

Figura 72 – Precipitação mensal (março de 2021 a fevereiro de 2022) x geração fotovoltaica



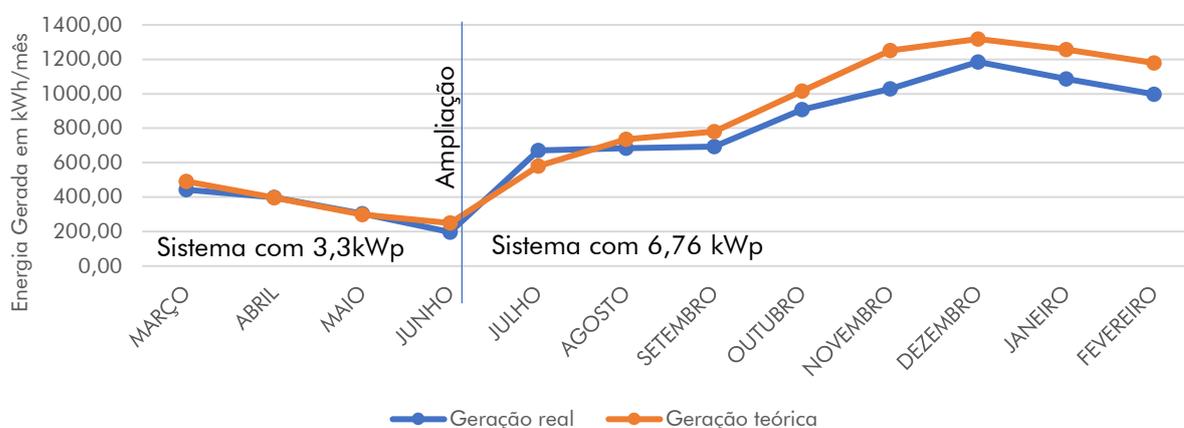
Fonte: INMET (2022) e EMBRAPA (2001), adaptado pelo autor.

Portanto, a redução na produção de energia no período analisado deve-se mais a condição de céu nublado do que propriamente aos dias chuvosos, considerando, também, que parte da precipitação pode ocorrer em períodos determinados do dia, como à noite ou durante a madrugada, quando não há geração de energia. Nesse sentido, é possível que haja um dia com alta precipitação no período noturno e uma geração dentro da média no período diurno, se houver céu limpo. Os dados detalhados da geração mensal são apresentados no apêndice B deste trabalho.

De acordo com os procedimentos metodológicos descritos anteriormente, a partir dos dados de irradiação solar de Passo Fundo, foi estimada a geração potencial (sem considerar perdas) e comparada à geração real, estabelecendo a taxa de desempenho para o sistema. A taxa

de desempenho média verificada foi de 0,92 nos 12 primeiros meses de geração, superior à utilizada em outros estudos simulando a geração fotovoltaica com valores entre 0,70 e 0,85 (DIDONÉ, WAGNER E PEREIRA, 2014; BENDER et al., 2020), demonstrando que a verificação *in loco* permite uma estimativa mais assertiva da geração. A menor taxa de desempenho foi de 0,79 no mês de junho e, alguns meses apresentaram geração superior ao estimado pelos dados de irradiação devido a condições climáticas, como dias sem nuvens, que podem aumentar a produtividade do sistema. A figura 73 apresenta o comparativo entre geração real (monitorada através de aplicativo) e potencial (estimada por meio dos dados de irradiação do CRESESB).

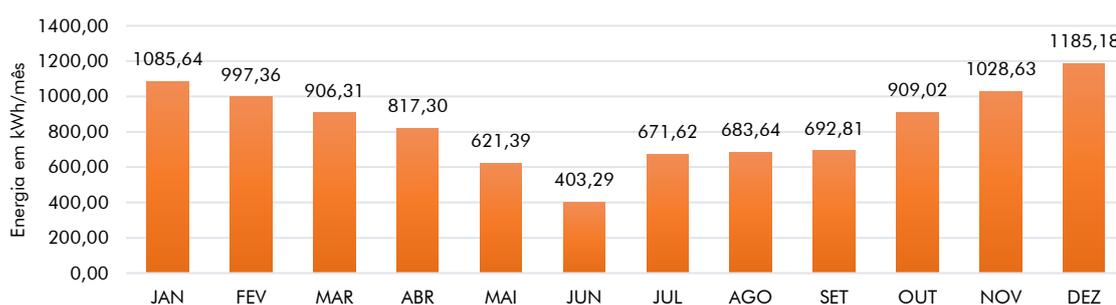
Figura 73 – Comparativo geração real x geração potencial



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Em seguida, a geração teórica foi projetada ao longo do ano para o sistema existente com 6,76kWp, considerando a taxa de desempenho média e os dados de irradiação solar fornecidos para Passo Fundo, adotando os valores de irradiação para o plano horizontal (0°), valor mais próximo ao do ângulo de inclinação do telhado do edifício L1, de 10°. Pela capacidade teórica do sistema atual, a geração projetada totalizaria 10.002,19 kWh/ano, cerca de 63,05% do consumo estimado de 15.861,60 kWh/ano. Os valores da geração projetada são apresentados na figura 74.

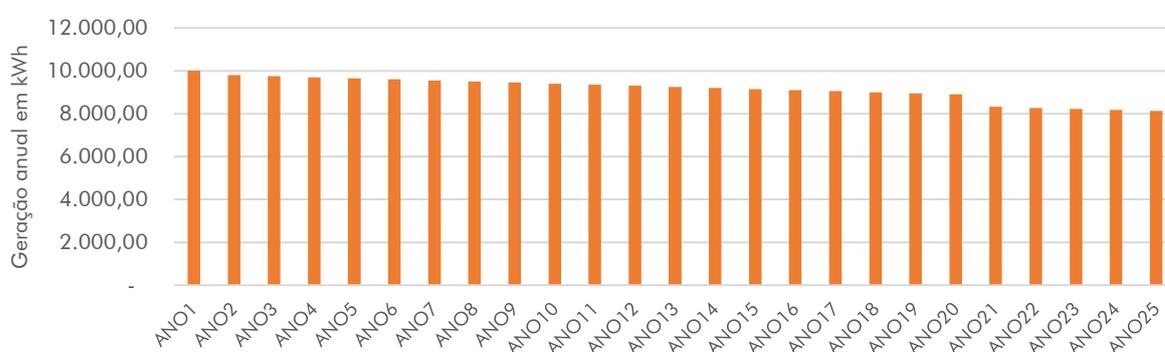
Figura 74 – Geração teórica projetada para o primeiro ano



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Considerando o custo de implantação de R\$ 32.220,00, o custo da energia no primeiro ano foi de R\$3,75/kWh, porém, esse valor é reduzido tendo em vista a vida útil do sistema. Portanto, foi realizada a estimativa de geração para 25 anos a fim de determinar a geração total pelo sistema, levando em conta a depreciação dos painéis durante a vida útil, sendo a depreciação aplicada conforme dados do fabricante, reduzindo a performance para até 80% (TRINA SOLAR, 2019). O montante de energia gerada estimada seria de 228.815,54 kWh, uma média de 9.152,62 kWh/ano, realizando o *payback* em 7 anos e com custo médio de R\$ 0,14/kWh, considerando o montante de energia gerada e a tarifa atual da UPF, de R\$ 0,77/kWh. A figura 75 apresenta os valores da geração estimada ao longo do ciclo de vida do sistema existente.

Figura 75 – Geração estimada para o ciclo de vida do sistema FV (25 anos)



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Entretanto, esses valores são insuficientes para atender completamente a demanda atual, sendo necessária a ampliação do sistema existente. No edifício L1 não será considerada a adoção de sistemas fotovoltaicos integrados - BIPV (Building Integrated Photovoltaics) nas fachadas, uma vez que a barreira vegetal afetaria a produção desse sistema. A mesma situação do L1 ocorre no estudo de Thoy e Go (2021), em que apenas o telhado é viável para geração de energia e o tempo de retorno do investimento foi de 7,6 anos. No entanto, essa estratégia pode ser utilizada em outros edifícios do campus sem obstruções de entorno, bem como em edifícios verticalizados.

4.3. Diagnóstico

Após a avaliação, foram realizados diagnósticos para orientar as ações e eficiência energética do edifício L1, visando também viabilizar a autossuficiência em energia.

4.3.1 Atendimento dos parâmetros luminotécnicos

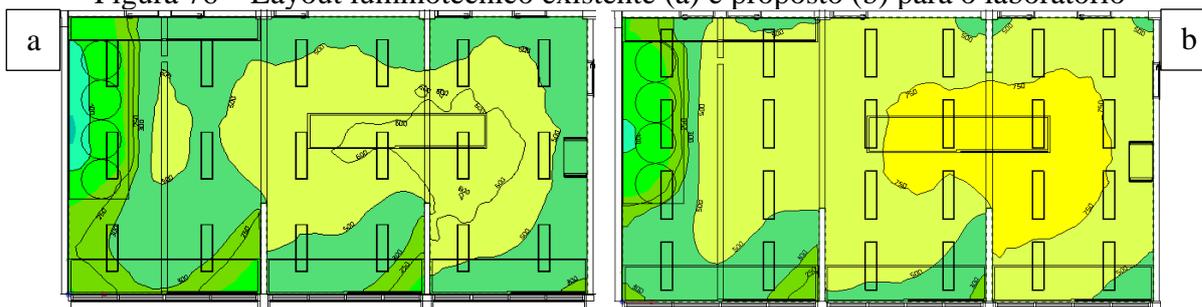
Conforme os itens anteriores, o edifício atende em parte os requisitos de iluminação, sendo necessário o retrofit dos sistemas instalados. Dessa forma, é necessária a suplementação de iluminação artificial, além da alteração do acionamento das luminárias existentes. Quanto à iluminação artificial, a verificação *in-loco* indicou valores abaixo dos requeridos pela NHO11 (FUNDACENTRO, 2018). Os índices verificados são decorrentes da queda da vida útil das lâmpadas, que reduz, também, o fluxo luminoso e a iluminância na área de trabalho. Portanto, recomenda-se a substituição das lâmpadas fluorescentes existentes por modelos de LED e ajustes no layout das luminárias. Além dos benefícios relacionados à redução de consumo de energia, o retrofit também implicará em benefícios psicológicos aos usuários do edifício através da adequação da iluminância nas áreas de tarefa, pela uniformização da temperatura de cor e ajustes de contraste excessivo, reduzindo a possibilidade de fadiga visual.

4.3.2 Retrofit, potencial de redução de consumo e indicadores de ecoeficiência

A substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas de LED (com maior vida útil, menor potência, fluxo luminoso similar) e a remoção dos reatores, podem reduzir a carga instalada do sistema e melhorar as condições de conforto visual nos ambientes. A lâmpada selecionada para o estudo foi o modelo tubular T8, com eficiência luminosa de 123 lm/W, temperatura de cor 4000k (branca neutro), IRC 80 e fluxo luminoso de 2.300 lúmens, próximo aos 2.350 lúmens das fluorescentes existentes, facilitando a substituição, porém com vida útil estimada em 25.000h (ALPER, 2021), enquanto as fluorescentes apresentam valores próximos a 10.000h úteis. A temperatura de cor branca neutra foi escolhida para padronizar o aspecto de iluminação e por possuir maior fluxo luminoso em relação à lâmpada com temperatura branca fria. Além disso, a temperatura de cor branca fria alteraria a percepção da cor real de objetos (INNES, 2014) e, também, está relacionada à redução de exposição a luz azul, que é fototóxica, alterando o ciclo circadiano, o que pode desencadear distúrbios do sono e redução da produtividade (CILUZ, 2020).

No laboratório de operações unitárias será considerada a modificação da altura de instalação e a inserção de mais luminárias, atingindo a iluminância média de 584 lux, atendendo aos requisitos da NHO11 e melhorando a distribuição da luz no espaço. A figura 76 apresenta o layout proposto no retrofit do laboratório.

Figura 76 – Layout luminotécnico existente (a) e proposto (b) para o laboratório



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nas salas de aula teóricas, foi proposta a orientação das luminárias e a instalação de mais uma luminária próxima ao quadro, conforme figura 77, atingindo 523 lux.

Figura 77 - Layout luminotécnico existente (a) e proposto (b) para a sala de aula



Fonte: Dialux, adaptado pelo autor (2021).

A economia obtida pelo retrofit foi de 53,91% no que se refere à carga instalada do sistema de iluminação, 54,4% em relação a DPI e 4,2% em relação ao consumo total atual do edifício, conforme tabela 7. Para demonstrar o custo anual do sistema, considerando a ocupação total do prédio, também foi estimado o consumo baseado em 8 horas diárias e dez meses, totalizando 2.080 horas anuais, multiplicadas pela tarifa de R\$ 0,77 kWh da UPF.

Tabela 7 - Potencial de redução de consumo do sistema de iluminação artificial

SISTEMA EXISTENTE							
Nº de luminárias	Nº de lâmpadas	Nº de reatores	Potência lâmpada	Fluxo luminoso lâmpada	Potência reator	Potência total instalada	Custo anual do sistema de iluminação (Ocupação total)
533	1066	533	32W	2350lm	15W	42,11kW	R\$ 67.438,57
8h diárias x 26 dias x 10 meses = 2.080/ano x 42,11kW x R\$ 0,77							
RETROFIT LUMINOTÉCNICO							
Nº de luminárias	Nº de lâmpadas	Nº de reatores	Potência lâmpada	Fluxo luminoso lâmpada	Potência reator	Potência total instalada	Custo anual do sistema de iluminação (Ocupação total)
539	1078	-	18W	2300lm	-	19,40kW	R\$ 24.211,20
8h diárias x 26 dias x 10 meses = 2.080/ano x 19,40kW x R\$ 0,77 (Tarifa kWh UPF)							
Redução na carga instalada do sistema em kW							22,703 kW (53,91%)
Consumo energético evitado (ocupação atual do edifício) em kWh/ano							667,28 kWh/ano
Redução no consumo total da edificação (ocupação atual do edifício)							4,2%
Redução no custo anual (ocupação atual do edifício) em R\$							R\$ 513,80
Redução na densidade de potência de iluminação – DPI em W/m²							12,60 > 5,74 (54,4%)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A redução da Densidade de Potência de Iluminação para $5,74\text{W/m}^2$ permitiria obter a classificação A pela INI-C (INMETRO,2021), que estabelece o valor de $8,7\text{W/m}^2$ como parâmetro de maior eficiência. Cabe salientar que as lâmpadas do edifício L1 estão sendo substituídas por LED gradualmente, conforme o fim de vida útil das fluorescentes instaladas. Para fins das propostas de retrofit, foi considerada uma nova substituição, após o fim da vida útil, para análise em conjunto ao ciclo de vida de 25 anos dos painéis fotovoltaicos e foram considerados os custos referentes à coleta e ao descarte das lâmpadas fluorescentes por empresas especializadas. É válido destacar que o edifício está sendo utilizado parcialmente em decorrência das restrições da pandemia, portanto, o consumo atual é reduzido em relação à ocupação total do prédio. Como a certificação do GBC Brasil considera as condições atuais do edifício, a redução do consumo foi estimada a partir do perfil de consumo da edificação e por meio da carga instalada.

Em referência a estudos precedentes, Santos e Grigoletti (2014) e Bortolin (2015) realizaram avaliações em tipologia ou porte diferentes do edifício L1, não sendo possível comparar a redução de consumo devido à diferença nos sistemas adotados e às necessidades energéticas de cada edificação. Em contrapartida, o estudo realizado no edifício V2 (MATANA JÚNIOR, MAGRO e FRITSCH, 2019), além de realizado na própria UPF, utilizou um edifício com área construída similar ($3.670,92\text{m}^2$), de mesmo uso (educacional) e número similar de lâmpadas e luminárias instaladas (1.134 lâmpadas), obtendo 41,16% de redução na potência instalada do sistema de iluminação. Entretanto, o impacto do retrofit é maior no consumo total, visto que o V2 possui menos laboratórios e equipamentos de alto consumo do que no edifício L1 e não há consumo de gás GLP.

O estudo de Booyesen, Samuels e Grobbelaar (2020), realizado em escolas na África do Sul, apontou que a iluminação era responsável por 31 a 57% dos custos de energia, com média de 40%. A economia diária variou de 80 a 190kWh , reduzindo as emissões entre 80 e $180\text{kgCO}_2/\text{dia}$. A demanda foi reduzida entre 80 e 290kVA e a energia economizada foi de 14.710 a 38.030kWh/ano . No estudo de Oliveira et al. (2018), realizado na Universidade Federal Fluminense – UFF no Rio de Janeiro, a iluminância das salas também estava em desacordo com as normativas e, através do retrofit, seria possível uma redução de 50,2% e 54,4% no consumo das salas de aula, com melhoria da iluminância, e a densidade de potência reduziu mais de 50%, ficando abaixo de 6W/m^2 .

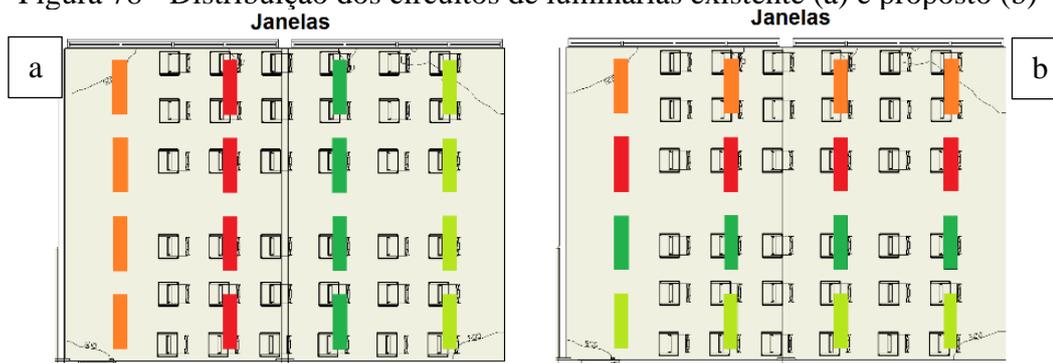
Dessa maneira, mesmo dentro de uma mesma tipologia educacional, a definição dos usos de uma edificação implica diretamente nas possibilidades de redução de consumo de energia elétrica, embora algumas características sejam similares, inclusive em dois edifícios em

um mesmo campus. As características construtivas e os sistemas existentes afetam no potencial de redução, no edifício L1, algumas salas necessitariam apenas de substituição de lâmpadas e mudança na altura de instalação, no edifício V2 além da substituição, seriam necessárias luminárias suplementares e reforma do forro suspenso das salas.

Quanto ao aproveitamento da iluminação natural, seria necessária a adequação dos circuitos das luminárias, que estão distribuídos no sentido quadro – fundo da sala, ou seja, os interruptores ligam e desligam os grupos de luminárias paralelos ao quadro. Essa situação também foi constatada no edifício V2, porém, com a orientação das janelas para leste e oeste (MATANA JÚNIOR, MAGRO E FRITSCH, 2019) e em outros edifícios do campus I da UPF (REBELATTO, 2019). A combinação entre iluminação artificial e natural é conceituada como “Iluminação Artificial Suplementar Permanente para Interiores” (LOPES, 2006), dessa forma, a distribuição dos circuitos no sentido contrário, paralelo às aberturas externas, permitiria essa combinação.

Considerando o desligamento de 154 luminárias próximas às janelas durante um turno, conforme a figura 78, nos períodos de outono e primavera e, a substituição por lâmpadas de LED, seria possível uma economia adicional de 2.659 kWh/ano, reduzindo em 6,58% o consumo do novo sistema de iluminação. Também poderia ser considerada a instalação de sensores a fim de regular a intensidade das luminárias (dimerização) conforme a disponibilidade de luz natural próxima às aberturas e, sensores de presença nas áreas de circulação e sanitários.

Figura 78 - Distribuição dos circuitos de luminárias existente (a) e proposto (b)



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na pesquisa de Lim et al. (2017), mais de 80% dos usuários tinham preferência por luz natural em seu espaço de trabalho e a economia de energia do sistema de iluminação foi de 40,9% a 52,8%, incluindo o aproveitamento da luz natural. No estudo de Rebelatto (2019), realizado no prédio B5 do campus I da UPF através da simulação, algumas das salas com orientação leste analisadas não atingiram os valores mínimos de 300 lux para iluminação natural no solstício de verão devido ao tamanho reduzido das esquadrias. Enquanto as salas voltadas

para norte apresentaram valores acima dos 300 lux, permitindo o seu aproveitamento e desligamento parcial do sistema artificial, assim como observado no edifício L1. Sendo assim, uma vez executado o retrofit, o aproveitamento da iluminação natural deverá ser considerado para reduzir ainda mais o consumo e também sob aspectos psicológicos benéficos para os usuários do edifício.

O sistema de climatização também pode ser alvo de retrofit pela substituição dos aparelhos existentes por modelos de tecnologia inverter, contribuindo na redução do consumo do edifício, mantendo a capacidade de climatização. Conforme Balvedi et al. (2018), a presença dos usuários aumenta a carga térmica do edifício, influenciando em resultados de graus hora de aquecimento. Nesse sentido, como o prédio L1 não está sendo utilizado em sua totalidade em razão das restrições pandêmicas, o consumo de energia encontra-se abaixo do habitual. Cabe salientar que com a implantação do ensino híbrido, há um cenário possível de redução de ocupação dos edifícios e, conseqüentemente, da manutenção no consumo reduzido de climatização e iluminação.

A localização também interfere nos sistemas utilizados pelos edifícios. O estudo de Berardi et al. (2017) aborda um edifício escolar na Espanha em que o aquecimento é responsável por 62% do consumo energético, enquanto a iluminação correspondia a 12% do total, situação encontrada em outros estudos em países europeus, que apresentam climas frios. Em climas quentes, como no Egito, o uso de energia também é direcionado para o conforto interno através da climatização (ALBADRY, TARABIEH E SEWILAM, 2017). No Brasil, o consumo energético de resfriamento predomina em relação ao aquecimento, portanto, o clima em que o edifício está inserido também demanda de estratégias diferentes para suprimento de energia, pois fatores como o entorno do edifício e a orientação solar das fachadas e aberturas influenciarão nas condições de conforto, mesmo localizados na mesma cidade.

Diversos estudos têm obtido resultados positivos quanto à economia de energia por meio do retrofit dos sistemas de climatização. Na pesquisa de Duarte, Melo e Lamberts (2019), a simulação da utilização de climatizadores do tipo VRF permitiria reduções de consumo de 11,7% a 17,8%, dependendo do sistema utilizado. Brugnera et al. (2019) também apontaram para uma redução média de até 16,4% no consumo de climatização pela definição de um *setpoint* (temperatura padrão de operação) de 24°C para 25°C. Quanto menores forem as cargas internas, menor será a demanda, por exemplo, a redução do resfriamento em 1°C pode representar 30% de redução no consumo de climatização (SANTESSO E CHVATAL, 2018).

No retrofit, foi considerada a instalação de climatizadores nas salas de aula teóricas e nos laboratórios de operações unitárias e processos químicos, além da substituição dos

equipamentos existentes. A tabela 9 apresenta o potencial de redução pelo retrofit do sistema de climatização.

Tabela 8 - Potencial de redução de consumo estimado pelo sistema de climatização

SISTEMA EXISTENTE							
Modelo	Quant.	Capac. BTUs	Eficiência Procel	Potência unitária em Watts	Potência total em kW	Consumo mensal (1h x 30 dias)	Consumo anual
Hi-wall	12	9.000	3,21	2.700W	32.400W	972 kWh	11.664kWh
Piso teto	2	50.000	3,69	14.700W	29.400W	882 kWh	10.584kWh
Piso teto	8	60.000	3,47	17.600W	140.800W	4.224 kWh	50.668kWh
Total					202.600W	6.078 kWh	72.936kWh
RETROFIT CLIMATIZAÇÃO							
Modelo	Quant.	Capac. BTUs	Eficiência Procel 2021	Potência unitária em Watts	Potência total em kW	Consumo mensal (1h x 30 dias)	Consumo anual
Hi-wall	12	9.000	4,32 (A)	1.014W	12.168W	365,04 kWh	4.380,48kWh
Piso teto	2	48.000	3,42 (A)	4.400W	8.800W	264 kWh	3.168kWh
Piso teto	17	56.000	3,25 (A)	6.300W	107.100W	3.213 kWh	38.556kWh
Total					128.068W	3.842,04 kWh	46.104,68kWh
Redução na carga instalada do sistema						36,78%	
Consumo energético evitado (ocupação atual do edifício)						2.190,63 kWh/ano	
Redução no custo anual (ocupação atual do edifício)						R\$ 1.686,79/ano	
Redução no consumo total da edificação (ocupação atual do edifício)						13,81%	

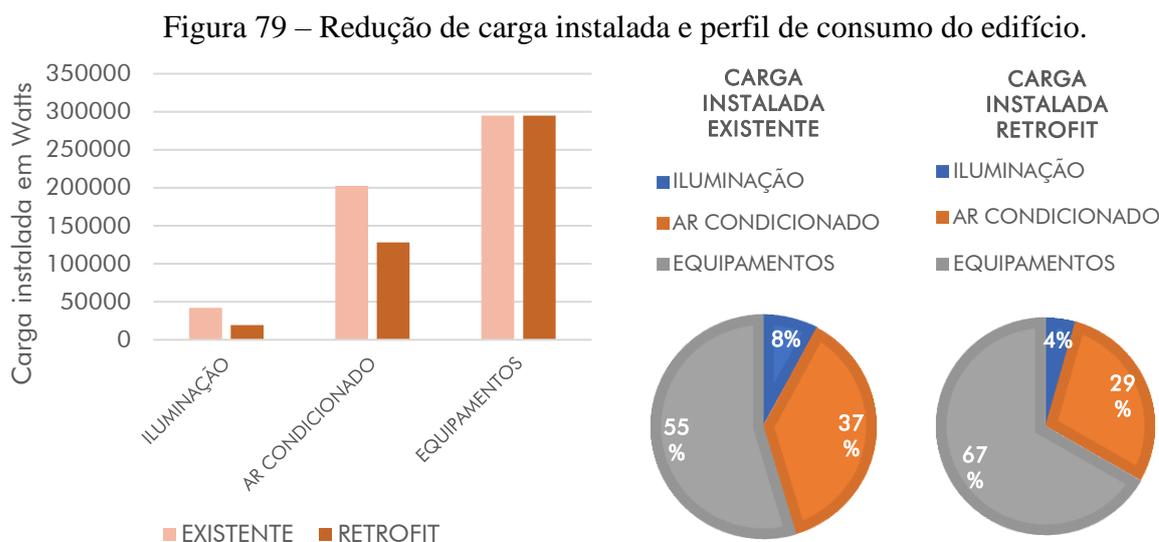
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A instalação de dispositivos de sombreamento como *brises-soleil*, *light-shelfs* e beirais também pode contribuir na redução da carga térmica do edifício, diminuindo assim o uso de climatizadores e ventiladores por desconforto térmico dos usuários, o qual é causado pelo aquecimento dos ambientes. A redução da carga térmica por dispositivos de sombreamento é positiva quanto à temperatura interna dos ambientes, no entanto, pode reduzir a disponibilidade de luz natural e aumentar o consumo pelo sistema de iluminação artificial (FIGUEROA-LOPEZ et al., 2021), sendo necessário avaliar o custo-benefício.

No caso do edifício L1, a barreira de vegetação e o beiral permitem sombrear grande parte da fachada norte, restando algumas salas do térreo que necessitariam de dispositivos de sombreamento. A utilização de automação e sensores de presença e luminosidade também podem contribuir na redução do consumo do edifício. Medidas relativas à envoltória e às esquadrias também podem contribuir, porém, demandam de estudos específicos, disponibilidade financeira e maior nível de intervenção para serem executadas.

A aplicação conjunta do retrofit de iluminação e climatização permitiria reduzir em, aproximadamente, 18,02% a carga e o consumo total atual da edificação, de 15.861,60 kWh anuais para 13.003,68 kWh consumidos por ano. Além disso, o perfil de consumo do edifício seria mantido mesmo com os equipamentos, ampliando a sua parcela em relação ao consumo total e reduzindo a carga instalada de 539.660W para 442.425W. Cabe salientar que grande parte do consumo energético do edifício L1 deve-se aos equipamentos e laboratórios que

predominam na configuração do edifício, diferentemente de outras edificações do campus, em que salas de aula teórica constituem a maior parte dos edifícios, portanto, maiores índices de redução dependeriam da utilização de equipamentos mais eficientes nos laboratórios. Conforme Garde et al. (2014), a conscientização dos usuários sobre o processo de operação também é necessária para que o comportamento destes contribua para o desempenho do edifício. A figura 79 apresenta o perfil de consumo e a redução de carga pela implantação do retrofit.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A partir da redução de consumo pelas estratégias ativas, os indicadores de ecoeficiência do edifício também serão modificados. A tabela 9 apresenta os indicadores de ecoeficiência atuais e pós-retrofit.

Tabela 9 – Indicadores de ecoeficiência do edifício L1

INDICADORES DE ECOEFICIÊNCIA DO EDIFÍCIO L1			
INDICADOR	ATUAL	PÓS-RETROFIT	REDUÇÃO
kWh/ano (consumo atual estimado)	15.861,60 kWh/ano	13.003,68 kWh/ano	18,02%
kWh/m ² /ano (consumo atual estimado)	4,12 kWh/m ² /ano	3,38 kWh/m ² /ano	-
kWh per capita	8,73 kWh/usuário	7,16 kWh/usuário	
DPI – Densidade de Potência de Iluminação – W/m ²	12,60W/m ²	5,74W/m ²	45%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Dessa forma, a adoção de medidas de eficiência energética poderia diminuir o consumo, reduzindo também os custos de implantação do sistema geração de energia renovável. Como comparativo, o estudo de Rabani, Madessa e Nord (2021) identificou a necessidade de 1.352m² de painéis fotovoltaicos para um edifício otimizado, contra 5.960m² do edifício sem otimização, demonstrando que sem a otimização seria inviável obter a área necessária para o sistema de energia renovável.

4.3.3 Potencial de geração de energia renovável

Com base nas avaliações precedentes, o edifício L1 apresenta potencial para geração de energia renovável tendo em vista a forma e a orientação do telhado para o norte, com área total disponível para instalação de 1.945,45m², entretanto, parte dessa área é voltada para o sul ou recebe mais de uma hora de sombra por dia. A localização afeta a disponibilidade de elementos de energias renováveis, como ventos e irradiação solar, portanto, esse fator também pode limitar ou potencializar a quantidade de energia a ser gerada, assim como as condições do clima, que irão adicionar incerteza nas projeções (BRAVO HIDALGO E BAEZ-HERNANDEZ, 2019).

O sombreamento de apenas um painel pode comprometer o rendimento do *string* (conjunto de painéis), sendo que os painéis fotovoltaicos apresentam maior eficiência quando estão perpendiculares à irradiação solar e, o posicionamento horizontal reduz a produtividade e aumenta o acúmulo de sujeira. Utilizar um ângulo igual à latitude fornece um desempenho adequado durante o ano inteiro (BALFOUR, SHAW E NASH, 2019), enquanto outras inclinações podem melhorar as médias máxima e mínima. Para que o *string* não sofra reduções por sombreamento de um único painel, podem ser utilizados microinversores, porém, conforme Godoi et al. (2018), estes são mais vantajosos para sistemas com potência menor que 1,5kWp. O sombreamento produz a inversão dos pólos dos módulos, ocasionando a dissipação da energia em forma de calor, criando pontos quentes (*hot spots*), que degradam fisicamente as células fotovoltaicas devido ao aumento de temperatura, que possuem temperatura crítica de 150°C, provocando danos irreversíveis e diminuição da geração de energia (ANJOS, 2016).

Através da modelagem em BIM, foi possível delimitar as áreas sombreadas do telhado ao longo do ano utilizando a ferramenta de estudo solar do Revit, permitindo estabelecer quais os locais ideais para a instalação dos painéis fotovoltaicos, visando o máximo potencial de geração de energia. A figura 80 apresenta as áreas livres de sombreamento no edifício, mesclando sombras do começo e final do dia 21 de junho:

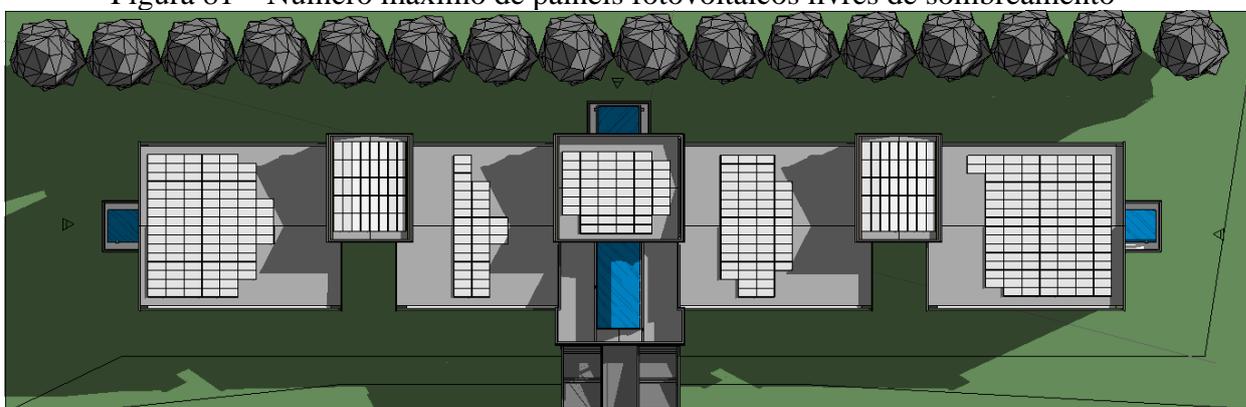
Figura 80 – Áreas livres de sombreamento no telhado do edifício L1



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A simulação do sombreamento utilizou a data do solstício de inverno (21 de junho) como referência em função da data apresentar o menor ângulo de incidência solar (38°N às 12h), gerando uma área de sombreamento maior sobre o telhado. Dessa forma, as áreas livres não recebem mais do que uma hora de sombra por dia a fim de não prejudicar a produção do sistema a ser instalado. A partir das áreas livres sem sombreamento e das áreas de telhado voltadas para a orientação norte e parte das águas para sul, para aproveitamento do sol a pino no verão, seria possível instalar um sistema fotovoltaico de até 434 painéis. A figura 81 apresenta a possibilidade de instalação de painéis sobre a cobertura do edifício fora das áreas de sombreamento.

Figura 81 – Número máximo de painéis fotovoltaicos livres de sombreamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O sistema totalizaria 195,3kWp (considerando painéis de 450Wp), classificado como mini geração, na faixa de superior a 75 kW até 5MW, contudo, para que não fossem necessárias adequações nas redes de infraestrutura, subestações e no próprio prédio, o sistema poderia ser reduzido para 75kW para que fosse classificado como microgeração, necessitando de 166 placas de 450W. Haveria área disponível nas águas do telhado voltadas para norte, que teria potencial de geração médio de 9.210,59 kWh/mês, totalizando 110,52 MWh/ano, convertendo o edifício em um EEP – Edifício de Energia Positiva, pois geraria energia excedente ao próprio consumo. Considerando o valor atual de 1.321,80 kWh/mês no L1, a geração seria 6,96 vezes maior do que o consumo.

Essa situação seria a ideal para que o sistema não fosse prejudicado por áreas sombreadas e reduzisse as perdas na geração dos painéis. A geração poderia ser maior ao cobrir o restante da cobertura, porém, para manter a orientação norte e ampliar a área de painéis seria necessária a execução de uma estrutura de suporte. A utilização das águas voltadas para o sul não é recomendada pela redução da eficiência dos painéis e, apesar do ângulo de incidência

solar no verão ficar quase perpendicular aos painéis, o ganho na geração poderia não compensar as perdas durante o inverno.

A utilização das áreas livres de sombreamento permitiria o melhor funcionamento durante todas as épocas do ano. De qualquer modo, a geração durante o verão poderia compensar a menor geração durante o inverno, quando o consumo é maior, por tratar-se de um sistema integrado à rede; se fosse utilizado o autoconsumo, o excedente de energia geraria créditos a serem utilizados para abater os valores do consumo no inverno, quando a geração não é suficiente para abastecer a demanda total do edifício.

Mesmo com a condição de autossuficiência atendida, conforme Kosonen e Keskiisaari (2020), a energia excedente deveria ser considerada futuramente para o carregamento de veículos elétricos, o armazenamento em baterias ou a transformação em energia química, como hidrogênio. A previsão de consumo futuro aplica-se dentro do conceito do ciclo de vida dos NZEBs, de acordo com Bravo Hidalgo e Baez-Hernandez (2019), esse ciclo poderia incluir também a energia total consumida durante os processos de construção e demolição, além da fase de operação, desde que esses consumos somados não ultrapassassem a energia gerada por fontes renováveis durante a ocupação do edifício.

Neste trabalho, por tratar-se de um edifício existente, não foi possível mensurar a energia incorporada na construção e ao longo dos 21 anos de uso da edificação, no entanto, a geração de energia excedente poderia compensar a energia consumida nessas fases e, também, nas etapas de produção, transporte e futura substituição dos painéis fotovoltaicos (CALDAS et al. 2017).

4.4. Cenários de autossuficiência

Nesta seção serão apresentados os cenários para a autossuficiência em energia do edifício L1. Foram avaliadas possibilidades com a adoção ou não de estratégias de eficiência energética, bem como sistemas fotovoltaicos de diferentes portes. As condições para classificar a autossuficiência foram baseadas na certificação GBC Brazil Zero Energy.

Conforme a certificação, há duas possibilidades em relação ao consumo de gás GLP, após a conversão do consumo em kWh: a primeira opção é somar este valor em kWh ao consumo de eletricidade e compensá-lo por energia renovável e, a segunda, é separar os dois consumos e compensar o de GLP através de RECs. A utilização de 1 REC representa 1 MWh consumido por meio do sistema de energia, oriundo de energias renováveis, seja eólica, solar,

biomassa ou hídrica, sendo que a aquisição de um REC representa que a energia certificada foi utilizada por apenas um consumidor (REC BRAZIL, 2021). Em suma, o REC funciona como o rastreamento da energia até a fonte, os preços variam entre R\$ 2,00 e R\$ 4,00 por certificado (BRAZIL WINDPOWER, 2019).

No edifício L1, o consumo médio de 418,41kg de GLP totaliza 5.021,00 kg consumidos em um ano, representando um consumo de 67,13 MWh, ou seja, seriam necessários 68 RECs para compensação; entretanto, será considerada a aquisição de 100 RECs devido à compra mínima desses certificados. Também há a possibilidade de verificar a substituição de equipamentos a gás por equipamentos elétricos, reduzindo a demanda de GLP e permitindo que os equipamentos sejam abastecidos pela energia renovável gerada *in loco*. Segundo o GBC (GBC BRASIL, 2020), para algumas tipologias, como a comercial, parte do consumo de energia elétrica também pode ser compensada por RECs, limitados a 10% do total. Essa compensação permitira reduzir o número de painéis fotovoltaicos, porém, a intenção das propostas é gerar a energia *on-site*. O apêndice C apresenta os formulários da certificação do GBC Zero Energy.

Para os orçamentos, foi descontado o valor do sistema fotovoltaico existente, uma vez que este foi financiado através do projeto de pesquisa de ultrafiltração de água da chuva, com verbas externas da Royal Society de Londres, Inglaterra. Os valores dos sistemas fotovoltaicos foram fornecidos pela empresa Lumenk Energia Solar, que possui sede no Rio Grande do Sul. Ainda, foram considerados os valores disponibilizados pelo programa de eficiência energética da concessionária RGE/CPFL, a qual o sistema de energia da UPF está conectado.

A Chamada Pública de Projetos 2021 – Programa de Eficiência Energética – PEE da RGE disponibiliza recursos do Programa de Eficiência Energética da ANEEL (Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000). Para a tipologia comercial, na qual estaria enquadrada a UPF, a verba disponibilizada varia de R\$ 300.000,00 (valor mínimo) a R\$ 500.000,00 (valor máximo). Os projetos são selecionados através de documentos técnicos, cadastrais, *compliance* e ranking (CPFL, 2021), oportunizando a captação de investimentos para a realização das estratégias abordadas neste estudo. Nessas simulações, foi considerado o valor necessário para execução das estratégias de eficiência energética do L1, bem como os custos do sistema de energia renovável.

Além dos subsídios para eficiência energética, há linhas de crédito específicas para a geração de energia renovável para implantação de propostas com maior volume de capital a ser investido. O Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES) possui linhas de crédito específicas, como o Fundo Clima – Subprograma Energias Renováveis, abrangendo projetos

de geração distribuída até 5MW, com valor mínimo de 10 milhões de reais (BNDES, 2021a). A linha Finame – Baixo Carbono, inclui sistemas fotovoltaicos, aquecedores solares, aerogeradores, sendo que os serviços de instalação e o financiamento ao capital de giro são limitados a 30% do valor total do empréstimo, com prazo de pagamento de 10 anos com até 2 anos de carência (BNDES, 2021b).

Neste trabalho será considerado o financiamento para energia fotovoltaica do Banco do Estado do Rio Grande do Sul – Banrisul, para simular a utilização de um crédito que esteja acessível a outras tipologias, a projetos de menor porte e, com taxas menores do que as do BNDES. O financiamento para energia solar considera o valor do CDI mais uma taxa de 0,035% ao mês. Estão incluídos no financiamento o material e a mão-de-obra, com prazo de pagamento de até 96 meses.

4.4.1 Cenário 1

O cenário 1 considerou as condições atuais do edifício, sem propostas de retrofit dos sistemas. O objetivo é comparar a diferença de custos e benefícios ao investir em estratégias de redução de consumo em relação a não adotar nenhuma medida. Primeiramente, seria necessária uma quantidade maior de painéis fotovoltaicos para compensar o consumo, visto que este não será reduzido neste cenário. Também é necessário destacar que esta proposta não traz benefícios diretos aos usuários da edificação, uma vez que os sistemas de iluminação e climatização não foram objeto de melhorias, reduzindo o benefício da proposta à geração de energia limpa no local e redução de emissões e custos de operação.

Para compensar o consumo estimado de 15.861,60 kWh anuais (uma média de 1.321,80 kWh mensais), considerando a taxa de desempenho do sistema existente, seria necessário um sistema de 10,8 kWp, com 9 painéis a mais do que o sistema existente no L1. Considerando que o sistema perderia a eficiência durante a vida útil, foi orçado um sistema maior do que o necessário para o consumo atual, com 20 placas de 450Wp, totalizando 15,76 kWp (inclusos os 6,76kWp existentes). Ainda, foi considerado um valor anual para a troca gradual de lâmpadas, visto que o sistema atual terminaria a sua vida útil dentro do prazo da proposta, portanto, a substituição iria ocorrer, mesmo que de forma gradativa. A tabela 10 apresenta o resumo do cenário 1.

Tabela 10 – Cenário de autossuficiência 1

Cenário 1		Compensação de 15.861,60 kWh anuais
Descrição		Custo em R\$
Estratégias de eficiência energética	Nenhuma adotada (considerado apenas o valor para a substituição gradual das lâmpadas, sem alteração no sistema de iluminação, como desconto no fluxo de caixa)	-
Sistema fotovoltaico a ser instalado	Sistema 9kWp – 20 Placas fotovoltaicas de 400W e inversor 8kW + Sistema existente de 6,76 kWp financiado via projeto de pesquisa e Royal Society	R\$82.220 R\$ 50.000,00 a investir + R\$ 32.220 subsídio Royal Society
Compra de RECs (Compensação GLP)	67,13MWh consumo GLP	R\$ 400,00
Certificação GBC Brasil Zero Energy	Taxa de inscrição R\$ 6.000,00 + Avaliação de projeto R\$ 3.500,00 (não membro GBC)	R\$ 9.500,00
CUSTO TOTAL		R\$ 92.120,00
CUSTO EFETIVO DESCONTANDO SUBSÍDIOS EXTERNOS (R\$ 32.220 Royal Society)		R\$ 59.900,00
Emissões de carbono evitadas – 13,96 toneladas de CO ₂ anuais (Geração FV)		

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.4.2 Cenário 2

O cenário 2 considerou o retrofit luminotécnico e do sistema de climatização, além do sistema fotovoltaico para suprir a demanda. Neste cenário, a redução de consumo permitiria que um sistema de 9kWp fosse suficiente para atender a demanda atual do edifício, com 5 painéis a mais do que o sistema existente e 4 painéis a menos do que no cenário 1. Também foi considerado um sistema adicional de 20 painéis de 450W, visando atender a demanda futura mesmo com a perda de eficiência do sistema. Além disso, a proposta melhoraria o desempenho energético e a qualidade dos espaços internos em termos de iluminação, conforto térmico e qualidade do ar. Essas estratégias, além de contribuírem na redução do consumo, também impactam na qualidade dos ambientes internos, ao melhorarem as condições de iluminação nas áreas de trabalho, e do ar interno, tendo em vista o avanço na tecnologia dos climatizadores. Este cenário demonstra a importância das ações de eficiência energética para além dos benefícios econômicos e ambientais, incluindo a dimensão social quando são criadas melhorias para os usuários do edifício.

Foi considerado o subsídio no valor de R\$ 451.916,82, dentro do valor total de R\$300.000,00 a R\$ 500.000,000 disponibilizados na chamada de projetos da CPFL para a tipologia comercial, desse modo, os custos do retrofit e da complementação do sistema renovável seriam completamente abatidos. Também foi avaliada a possibilidade de financiamento para implantação das medidas, caso o subsídio não fosse obtido. A tabela 11 apresenta o resumo do cenário 2.

Tabela 11 - Cenário de autossuficiência 2

Cenário 2		Compensação de 13.003,68 kWh anuais
Descrição		Custo em reais
Estratégias de eficiência energética	Retrofit Luminotécnico	R\$ 98.664,57
	Retrofit ar-condicionado	R\$ 303.252,25
Sistema fotovoltaico a ser instalado	Sistema 9kWp – 20 Placas fotovoltaicas de 400W e inversor 8kW + Sistema existente de 6,76 kWp financiado via projeto de pesquisa e Royal Society	R\$82.220 R\$ 50.000,00 a investir + R\$ 32.220 subsídio Royal Society
Compra de RECs (Compensação GLP)	67,13MWh consumo GLP	R\$ 400,00
Certificação GBC Brasil Zero Energy	Taxa de inscrição R\$ 6.000,00 + Avaliação de projeto R\$ 3.500,00 (não membro GBC)	R\$ 9.500,00
CUSTO TOTAL		R\$494.036,82
CUSTO TOTAL DESCONTANDO SUBSÍDIOS EXTERNOS (R\$ 32.220 Royal Society + R\$ 451.916,82 chamada pública CPFL)		R\$ 9.900,00
Emissões de carbono evitadas – 15,67 toneladas de CO ₂ anuais (FV 13,96 +1,71 Retrofit)		

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em outras tipologias, em que não há a possibilidade de subsídio a fundo perdido, há o termo de cooperação, no qual não é preciso ressarcir custos de mão-de-obra, administração, transporte, marketing próprios, diagnóstico energético de terceiros. Os custos de materiais, equipamentos, mão-de-obra terceirizada, medição, verificação, treinamento e descarte de materiais devem ser ressarcidos de forma parcelada (CPFL, 2021). Mesmo com a necessidade de ressarcimento, o aporte feito pela concessionária poderia viabilizar a implantação das propostas de forma imediata, nesse caso, avaliando se o retorno financeiro do projeto permitiria o ressarcimento do subsídio. Conforme Zhang (2021), um sistema financeiro verde, incluindo créditos, títulos, fundos, financiamento e outros canais, deve ser estabelecido para garantir o desenvolvimento sustentável de médio a longo prazo dos NZEBs. Nesse sentido, a ampliação de programas, como o PEE das concessionárias, pode acelerar a implantação de edifícios autossuficientes em energia no Brasil.

4.4.4 Cenário 3

O cenário 3 tem como premissa a utilização da área máxima de cobertura disponível, sem áreas de sombreamento, visando o rendimento máximo dos painéis. Entretanto, a utilização total da área disponível (436 painéis) caracterizaria o sistema como minigeração – acima de 75kW, o que demandaria melhorias de infraestrutura de rede para injetar a energia excedente, além de inversores de maior capacidade, elevando consideravelmente os custos de implantação. Em função disso, foi dimensionado um sistema dentro da capacidade de microgeração – até 75kW, com 166 módulos de 450W. O objetivo da proposta foi produzir um Edifício de Energia

Positiva - EEP, ou seja, que gera mais energia do que consome. O consumo a compensar seria o mesmo do cenário 2, somado ao consumo de GLP convertido em kWh, pois a proposta já estaria gerando excedente, desconsiderando a compra de RECs. Foi considerado o valor máximo de subsídio de R\$ 500.000,00 do PEE da concessionária. A tabela 12 apresenta o resumo do cenário 3.

Tabela 12 - Cenário de autossuficiência 3

Cenário 3		Compensação de 13.003,68 kWh anuais + 67.130,31 kWh (GLP convertido)
Descrição		Custo em reais
Estratégias de eficiência energética	Retrofit Luminotécnico Retrofit ar-condicionado	R\$ 98.664,57 R\$ 303.252,25
Sistema fotovoltaico a ser instalado	Sistema 75kWp - 166 Placas fotovoltaicas de 450W e Inversores + Sistema existente de 6,76 kWp financiado via projeto de pesquisa e Royal Society	R\$550.000,00 + R\$ 32.220,00 subsídio Royal Society
Compra de RECs (Compensação GLP)	Não necessária, consumo GLP convertido e somado ao consumo elétrico	-
Certificação GBC Brasil Zero Energy	Taxa de inscrição R\$ 6.000,00 + Avaliação de projeto R\$ 3.500,00 (não membro GBC)	R\$ 9.500,00
CUSTO TOTAL		R\$993.636,82
CUSTO TOTAL DESCONTANDO SUBSÍDIOS EXTERNOS (R\$ 32.000 Royal Society + R\$ 500.000,00 chamada pública CPFL)		R\$ 493.636,82
Emissões de carbono evitadas – 67,86 toneladas de CO ₂ anuais (FV 66,15+1,71 Retrofit)		

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A etapa seguinte consiste na avaliação econômica dos três cenários propostos, utilizando os critérios do tempo de retorno do investimento e os benefícios para os usuários a fim de definir qual dos cenários possui melhor custo-benefício e viabilidade de execução. Os cenários propostos também podem ser executados em etapas, em função dos altos investimentos necessários.

4.5. Avaliação econômica

A avaliação econômica dos cenários de autossuficiência foi realizada através dos métodos de *payback* simples, *payback* descontado e TIR. O critério para descarte dos projetos é o tempo de retorno do investimento superior a 25 anos (vida útil do sistema fotovoltaico). No *payback* simples, sem considerar o dinheiro no tempo, os valores foram simulados como retiradas de caixa, pressupondo a existência de verba para a execução das propostas. No *payback* descontado, que considera o valor do dinheiro no tempo, foram simulados financiamentos (quando não haveria verba em caixa para realizar as propostas). A descrição dos fluxos de caixa de cada cenário encontra-se no Apêndice C deste trabalho.

Não foram considerados valores para reciclagem ou destinação do final dos sistemas fotovoltaicos, levando em conta a ausência de parâmetros de custo para esses processos no

Brasil. Conforme Prado (2018), devido ao ciclo de vida estimado em 25 anos para os sistemas fotovoltaicos e sua implantação na última década no Brasil, ainda seria necessário desenvolver processos para a reciclagem e reutilização dos componentes. Os módulos são passíveis de reciclagem, através de solventes e agentes de lixiviação brandos, para evitar emissões de gases e não danificar equipamentos industriais por corrosão. De acordo com Dias (2015), a moldura dos painéis é composta, majoritariamente, de alumínio, que pode ser reciclado, assim como o vidro. O silício cristalino e a prata dos módulos também podem passar por processo de reciclagem e os polímeros podem ser removidos por meio de processos térmicos. Por conterem chumbo, os painéis são classificados como resíduos perigosos - classe I, em relação a NBR 10004, ou seja, se não forem reciclados, devem ser dispostos juntamente com resíduos industriais de mesma classe.

4.5.1 Cenário 1

O cenário 1 considera a complementação do sistema fotovoltaico e a substituição gradual de lâmpadas. Sem considerar os subsídios do PEE da CPFL, o *payback* simples ocorreria em 5 anos. Quando considerados os subsídios do PEE, o *payback* simples ocorreria no primeiro ano, demonstrando que esse aporte viabilizaria o investimento e reduziria o tempo de retorno. Neste caso, para obter o subsídio do PEE da concessionária, seria necessário incluir o sistema fotovoltaico do L1 junto a outros investimentos de eficiência energética no campus para atingir o valor mínimo do subsídio. A figura 82 apresenta o *payback* simples do cenário 1:

Figura 82 - *Payback* simples cenário 1 – complementação do sistema FV existente e substituição gradual de lâmpadas – (a) sem subsídios, (b) com subsídios



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A proposta é viável em ambas as análises de *payback* simples. Contudo, esse método não considera o valor do dinheiro no tempo e, nesse caso, também não considera a defasagem na geração fotovoltaica até o fim da vida útil, reduzindo o valor de entrada no fluxo de caixa a

cada ano. Ainda, foi simulado o financiamento da proposta e o pagamento de parcelas decrescentes durante 8 anos, diminuindo também o fluxo de caixa inicial. Portanto, no método do *payback* descontado, seriam necessários 6 anos para o retorno sem subsídios e 1 ano para a proposta com subsídios, conforme a figura 83.

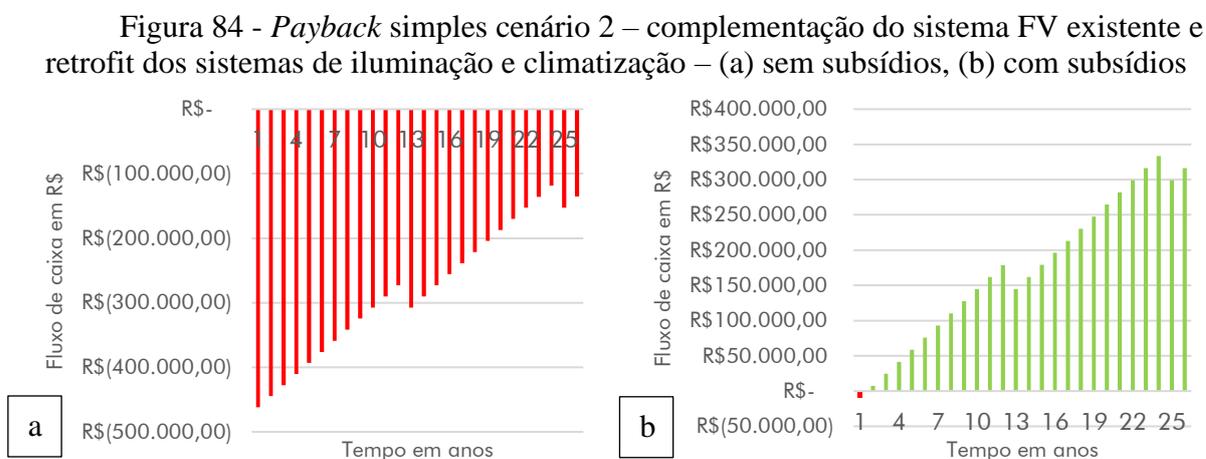


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A Taxa Interna de Retorno – TIR da proposta com subsídios foi de 128,97%, superior à Taxa Mínima de Atratividade (Taxa Selic de 9,25%), sem os subsídios, a TIR foi de 31,18%, ambas viáveis. Entretanto, mesmo com o tempo de *payback* e TIR aceitáveis quando há subsídios, os benefícios são menores pela não adoção de medidas de eficiência energética.

4.5.2 Cenário 2

O cenário 2 considera estratégias de retrofit dos sistemas de iluminação e climatização e um sistema fotovoltaico de 9kWp. A figura 84 demonstra o *payback* simples do cenário 2.

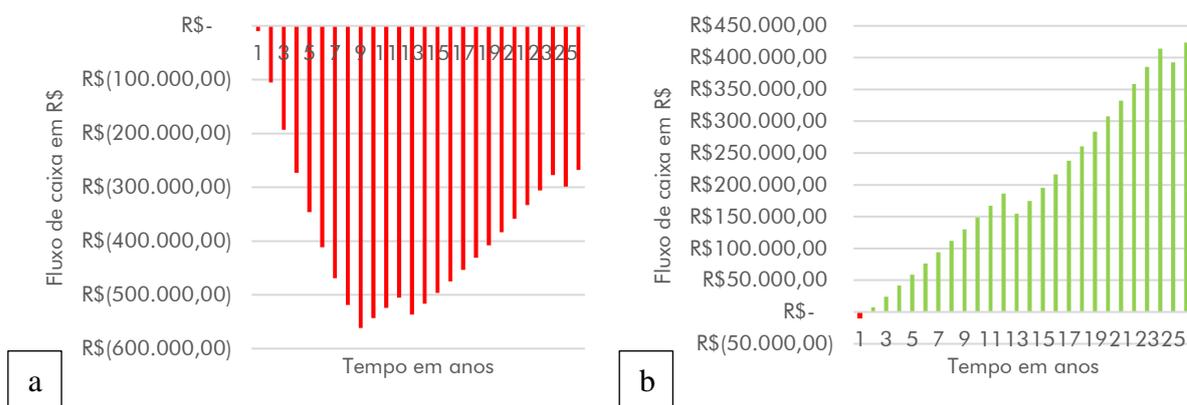


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Sem considerar os subsídios do programa de eficiência energética da concessionária, a proposta não atingiria o *payback* dentro dos 25 anos ou, seria necessário que as estratégias de eficiência energética fossem implantadas de maneira gradual. Quando considerados os subsídios do PEE e da Royal Society, a proposta torna-se viável, com o *payback* simples ocorrendo no primeiro ano, criando um fluxo de caixa positivo no restante do período.

Através do *payback* descontado, foi possível considerar também o valor do reajuste tarifário de energia. Como o período para retorno do investimento é de 25 anos, no 12º e 24º anos também foi considerado um valor para um novo retrofit de iluminação em função da vida útil das lâmpadas. As medidas de eficiência energética da proposta reduzem o consumo de energia, por consequência, esse custo evitado torna-se maior com o passar do tempo devido ao reajuste tarifário. Considerando a influência desses fatores no fluxo de caixa, o *payback* da proposta com subsídios ocorreria no primeiro ano, porém, sem subsídios a proposta ainda não seria viável economicamente, conforme a figura 85.

Figura 85 - *Payback* descontado cenário 2 – complementação do sistema FV existente e retrofit dos sistemas de iluminação e climatização – (a) sem subsídios, (b) com subsídios



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

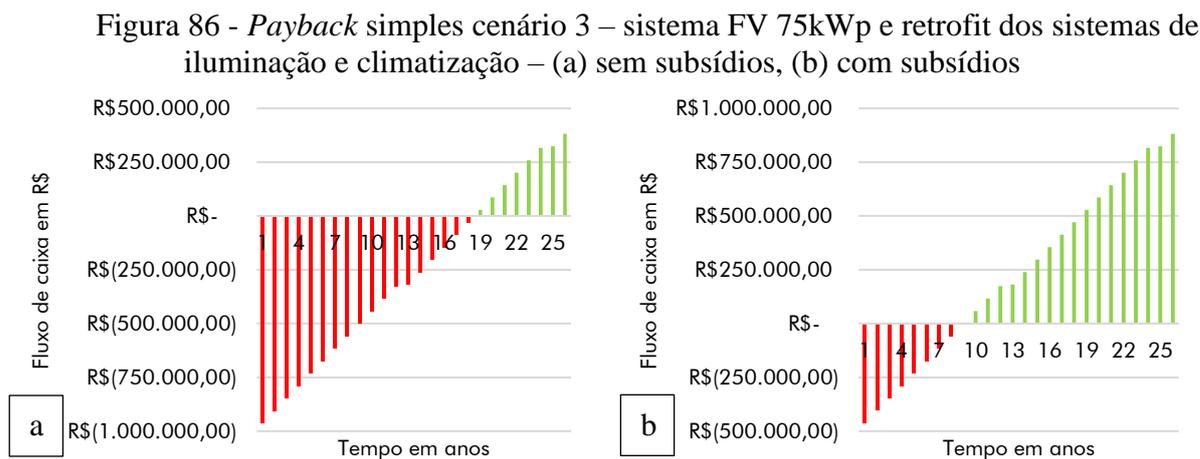
A TIR da proposta atingiu o valor de 173,30% quando considerando o PEE e o aporte da Royal Society, entretanto, esse cenário mostrou-se viável apenas quando os subsídios foram considerados. Como alternativa para a implantação da proposta, poderia ser considerado apenas o retrofit do sistema luminotécnico, com custo total de R\$ 158.564,57, no qual o *payback* descontado ocorreria em 20 anos sem os subsídios ou, em 1 ano de *payback* com os subsídios, e com a substituição dos climatizadores sendo realizada gradualmente.

4.5.3 Cenário 3

No cenário 3, em função do valor economizado pelo sistema fotovoltaico de 75kWp, no *payback* simples a proposta é viável com e sem os aportes financeiros, com *payback* entre 18

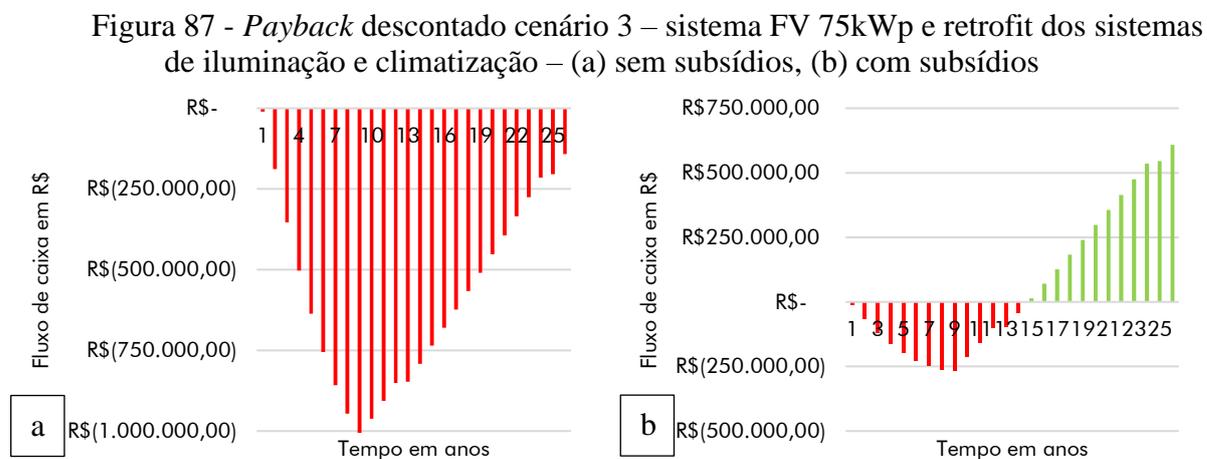
anos sem subsídios e 8 anos, considerando subsídios, ambos aceitáveis. Considerando que houvesse o montante necessário em caixa para ser investido, a importância dos subsídios do PEE da RGE/CPFL fica evidenciada, pois esses recursos poderiam reduzir em mais de 50% o tempo de *payback* neste cenário. O fluxo de caixa mais robusto gerado pela proposta permitiria o retorno do investimento antes dos 25 anos, mesmo com um montante maior a ser investido.

A figura 86 apresenta o *payback* simples.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

No *payback* descontado foi considerado o aumento tarifário e a defasagem na geração fotovoltaica, além dos custos de um financiamento. Quando não há subsídios, a proposta torna-se inviável em função do custo do financiamento, tornando o fluxo de caixa negativo e, por consequência, aumentando o montante a ser pago. Quando há o subsídio, o *payback* ocorreria no 14º ano, demonstrando que o financiamento aumentaria o tempo de retorno da proposta em 6 anos. A TIR atingiu 3,97%, quando considerados os subsídios, inferior a TMA de 9,25%, não sendo atrativa financeiramente. A figura 87 apresenta o *payback* descontado do cenário 3:



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.5.4 Análise da viabilidade e implicações práticas

A viabilidade técnica e econômica das propostas foi realizada com base nos distintos cenários para o auxílio na tomada de decisão sobre qual dos projetos apresenta mais benefícios aos usuários, ao meio ambiente e em relação aos custos para a universidade, abrangendo o tripé da sustentabilidade (social, ambiental e econômico). A tabela 13 apresenta o resumo dos cenários.

Tabela 13 – Comparativo entre a viabilidade dos cenários de autossuficiência:

CENÁRIOS NZEB EDIFÍCIO L1 UPF	Cenário 01		Cenário 02		Cenário 03	
	s/sub	c/sub	s/sub	c/sub	s/sub	c/sub
INDICADORES ECONÔMICOS						
Payback simples em anos	5	1	Inviável	1	18	8
Payback descontado em anos	6	1	Inviável	1	Inviável	14
Taxa interna de retorno (%) (aceitável se superior a TMA de 9,25%)	31,18%	128,97%	Sem retorno	173,03%	Sem retorno	3,97%
Saldo resultante (sem subsídios e com financiamento)	R\$ 206.093,70		-R\$ 267.732,40		R\$ -141.521,86	
Saldo resultante (com subsídios e com financiamento)	R\$ 280.588,11		R\$ 423.649,80		R\$ 608.276,33	
Custo da energia FV no primeiro ano	R\$3,53/kWh		R\$3,53/kWh		R\$4,97/kWh	
Custo da energia FV no ciclo de vida	R\$0,19/kWh		R\$0,19/kWh		R\$0,27/kWh	
BENEFÍCIOS DA PROPOSTA						
Consumo de energia evitado	Não		Sim		Sim	
Autossuficiência em energia	Sim		Sim		Sim	
Geração para outras edificações	Não		Não		Sim	
Melhoria das condições internas	Não		Sim		Sim	
Toneladas de CO ₂ evitados/ano	13,96		15,97		67,86	
INDICADORES DE ECOEFICIÊNCIA						
Consumo em kWh/ano	15.861,60		13.003,68		13.003,68	
Consumo em kWh/ano/m ²	4,12		3,38		3,38	
Densidade pot. de iluminação W/m ²	12,60		5,74		5,74	
Densidade pot. de climatização W/m ²	60,63		38,32		38,32	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Todos os cenários apresentaram viabilidade quando considerados os aportes do Programa de Eficiência Energética da concessionária de energia. Da mesma forma, todas as propostas permitiriam atender a certificação do GBC Brasil quanto à autossuficiência do edifício, com ressalvas quanto à ocupação, que no período do estudo esteve reduzida quando comparada à sua utilização normal. Os formulários de certificação encontram-se no Anexo A deste trabalho.

O estudo demonstrou que os subsídios fornecidos via projeto de pesquisa e PEE impactam diretamente na viabilidade das propostas, bem como na redução do tempo de *payback*. Conforme Kosonen e Keskisaari (2020), o tempo de *payback* ainda pode ser reduzido através do aumento de autoconsumo, como o carregamento de veículos elétricos. O

autoconsumo permite que a energia seja consumida *in loco*, sem ser injetada na rede, reduzindo a incidência de tarifas.

O cenário 1 apresentou tempos de retorno e TIR adequadas em todas as situações, sendo a proposta indicada caso fosse realizada com recursos próprios da universidade, a fim de garantir a autossuficiência em energia do edifício em curto prazo. Entretanto, esse cenário não utiliza estratégias de eficiência energética para aumentar o desempenho do edifício e não traz benefícios aos usuários através da melhoria das condições internas da edificação, partes fundamentais do conceito de um *zero energy building*. Ou seja, apesar do menor custo e viabilidade econômica em relação aos demais cenários, ao longo do tempo, seria necessário gerar mais energia para manter a condição de autossuficiência, conforme a ocupação normal do edifício fosse retomada.

O cenário 2 introduz as estratégias de eficiência energética e, se obtidos os subsídios do programa de eficiência energética, pode trazer benefícios imediatos através do retrofit dos sistemas de iluminação e climatização, além de necessitar de um sistema fotovoltaico de menor porte para o suprimento da demanda. Ao considerar o aumento do custo da energia com o passar do tempo, as estratégias de eficiência energética adquirem ainda mais importância e, ao considerar o prazo de 25 anos, o montante economizado e a TIR são superiores ao cenário 1, além de caracterizar o edifício L1 como um *zero energy building*. No entanto, sem os aportes do PEE, a proposta não seria economicamente viável devido ao montante a ser investido.

O cenário 3 repete as estratégias de eficiência energética e adota um sistema fotovoltaico de maior capacidade, mesmo sem utilizar a totalidade da área de telhado disponível. A proposta traria benefícios para além do edifício L1, gerando energia excedente para alimentar outros edifícios do campus, contribuindo com o conceito de *Netzero Clusters*, onde um edifício autossuficiente passa a gerar energia para outros que ainda não atingiram essa condição. Além disso, há maior redução de emissões, que podem realizar a compensação de etapas anteriores de construção, ocupação e produção dos painéis fotovoltaicos. Porém, a proposta apresenta viabilidade econômica apenas na presença de subsídios, ou se houvesse caixa disponível para implantação imediata sem necessidade de financiamento. Mesmo com os subsídios, a TIR foi inferior a TMA, indicando que nesse caso, seria preferível uma aplicação financeira, além de que o montante a ser investido implicaria em riscos maiores do que as propostas anteriores.

Dentre os três cenários, a proposta com mais benefícios aos usuários, meio ambiente e universidade, sob o ponto de vista técnico e econômico, é o cenário 2 com subsídios. Os benefícios oferecidos seriam imediatos, reduzindo custos, emissões e melhorando a qualidade dos espaços internos da edificação, além de um menor custo de kWh. Com os subsídios, o

payback ocorreria ainda no primeiro ano e o fluxo de caixa positivo nos anos seguintes permitiria investir em outras estratégias de design passivo para o edifício L1 ou para a replicação das estratégias ativas para outros edifícios, constituindo novos ZEBs, nesse caso, também dentro do conceito dos *Netzero Clusters*, criando uma rede de edificações autossuficientes em energia.

O enfoque deste estudo foi direcionado para estratégias ativas de eficiência energética, que permitiriam reduções imediatas no consumo de energia aliadas à melhoria dos ambientes internos. O fluxo de caixa gerado pelas propostas poderia auxiliar na implantação de estratégias passivas, no entanto, quando considerado o contexto da UPF e que se aplicaria a edifícios existentes de empresas e instituições, investir em estratégias ativas e geração de energia renovável poderiam trazer resultados econômicos mais robustos. Já para edifícios novos, recomenda-se a utilização de simulações, como as aplicadas neste estudo, somadas a simulações termo energéticas para avaliar estratégias passivas e criar edifícios que sejam eficientes desde a sua concepção.

O estudo de Alkhateeb e Abu-Hijleh (2019), em um edifício federal nos Emirados Árabes Unidos, identificou através de simulação que as estratégias ativas podem reduzir em 63,2% o consumo de eletricidade e as estratégias ativas 14,7%, apesar da necessidade de elementos de sombreamento e tratamento de fachada em função do clima. Na pesquisa de Alliprandini (2018), as ações passivas - melhoria da envoltória e colocação de *brises-soleil* permitiram a redução de 33% na carga térmica e as ações ativas, como o retrofit luminotécnico, reduziram o consumo em 8,78%, porém, a análise de custos demonstrou melhor resultado das ações ativas do que das ações passivas, destacando o papel do retrofit para alcançar a condição de zero energia de um edifício.

No caso do edifício L1, ao investir R\$ 320.117,45 para a substituição da cobertura, os benefícios ficariam limitados ao segundo pavimento e ao condicionamento térmico, enquanto um valor similar poderia ser investido para renovar e ampliar o sistema de climatização de toda a edificação, o que contribuiria com a qualidade do ar interno, além da redução de consumo. Da mesma forma, investir R\$ 172.380,00 para a colocação de *brises-soleil* na fachada norte traria melhoria de conforto interno, mas limitaria o aproveitamento de luz natural, além de que o mesmo montante permitiria realizar o retrofit luminotécnico. Os recursos do fluxo de caixa após o *payback* poderiam ser reinvestidos na substituição dos demais equipamentos por modelos mais eficientes, assim como ações de conscientização dos usuários, ampliando a redução de consumo.

Além disso, a conversão do edifício L1 em um ZEB poderia dar início a um plano de replicação das estratégias para outros edifícios do campus, criando uma rede integrada de edifícios autossuficientes, sendo esse conceito aplicável para outros setores, tais como a indústria, o comércio e os edifícios públicos, iniciando por um ZEB ou NZEB, que passe a gerar energia para outros edifícios do mesmo proprietário ou mantenedor, e abrindo espaço no fluxo de caixa para a repetição do processo. Conforme D'Agostino et al. (2021), os NZEBs serão ampliados e integrados ao nível distrital e urbano, estabelecendo os *Net Zero Energy Districts* (NZED), ou bairro *Net Zero*.

Soma-se a isso o fato de que, se obtida a certificação do GBC Brasil, o edifício L1 seria o primeiro *zero energy building* universitário certificado do Rio Grande do Sul, contribuindo também no posicionamento da UPF no UI Green Metric Ranking. Essas ações estão inseridas no contexto das Políticas de Responsabilidade Social e Ambiental da UPF (DALMOLIN, MORETTO, 2014) e do Plano de Desenvolvimento Institucional da UPF 2017-2021 (UPF, 2016), bem como em sua atualização para o período 2022-2026 (UPF, 2021c), que estabelecem diretrizes de sustentabilidade, equilíbrio econômico e eficiência energética.

Considerando os efeitos das mudanças climáticas, é imprescindível projetar novos edifícios com impactos mínimos sobre o meio natural (LOEFFLER, ÖSTERREICHER E STOEGLEHNER, 2021), nesse sentido, os NZEBs, a partir de edifícios novos e existentes, contribuem também para a descarbonização do estoque imobiliário (D'AGOSTINO et al., 2021). Sistemas de geração de energia distribuída podem construir a resiliência das comunidades em face às mudanças climáticas pela redução da dependência das linhas de transmissão e de usinas distantes do local de consumo (MCCOY et al. 2020). Além disso, a sinergia entre governos e comunidades locais é relevante para estabelecer políticas que incorporem a eficiência energética como prioridade no desenvolvimento, visando a redução de emissões (RADZI E HASSAN, 2020).

Os investimentos em edifícios eficientes, retrofit, energia fotovoltaica estão entre os campos de eficiência energética com mais potencial de geração de empregos, sobre o retrofit, há uma estimativa de 21 a 31 empregos criados por milhão de dólares investidos, número similar ao do setor de biocombustíveis (EPE, 2020). Portanto, fica evidente que a expansão e consolidação dos NZEBs trará grandes benefícios sociais, econômicos e ambientais, além de contribuir para a construção de uma infraestrutura sustentável e resiliente em face às mudanças climáticas. Entretanto, as medidas para acelerar esse processo no Brasil e em outros países emergentes devem ser similares as já adotadas pela União Europeia e Estados Unidos, onde os novos edifícios terão de ser projetados como zero energia, além da expansão de créditos e

subsídios específicos para estes processos. No Brasil, já há uma série de regulamentos técnicos quanto ao desempenho e eficiência energética de edificações, a INI-C (INMETRO, 2021) passou a incluir os conceitos de NZEB e EEP, dando o primeiro passo para a inserção da temática dentro da legislação brasileira.

Estudos futuros poderão explorar outros conceitos relacionados com os NZEBs. O projeto de pesquisa *Drinking Water From Rain* (BRIÃO, 2019) poderia compor uma pesquisa para tornar o edifício autossuficiente no consumo de água, estratégia já verificada em outros NZEBs. Também já há um projeto de pesquisa que será iniciado para explorar o conceito de *Netzero Carbon Building* (edifício carbono zero), utilizando estruturas com microalgas para sombreamento e sequestro de carbono, compensando as emissões do ciclo de vida do edifício (FRANDOLOSO, 2021). Outras fontes de energia renovável, como eólica e biomassa, também podem ser avaliadas, visto que os sistemas fotovoltaicos geram energia apenas durante o dia, interferindo no autoconsumo à noite.

O estudo demonstrou 3 cenários viáveis economicamente para tornar um edifício autossuficiente em energia. A metodologia utilizada pode ser replicada para outras edificações, salientando que edifícios novos devem explorar ainda mais essas ferramentas para incorporar estratégias passivas aos edifícios. As estratégias utilizadas ainda necessitam de sua efetivação a fim de que os benefícios reais possam ser aferidos. Do mesmo modo, os resultados obtidos pela avaliação pós-ocupação realizada neste estudo (mesmo sem a visão dos usuários devido às restrições da pandemia) permitem retroalimentar o processo de projeto, incorporando as ações e ferramentas utilizadas nos projetos de novas edificações eficientes energeticamente, bem como auxiliar no retrofit de edificações existentes, as quais compõem a maioria do estoque imobiliário.

5. CONCLUSÃO

O edifício L1 da Universidade de Passo Fundo apresenta condições técnicas e econômicas para tornar-se um edifício autossuficiente em energia. Além da orientação solar e outras características que favorecem a geração de energia renovável, o grande consumo energético, decorrente das características de forma e uso da edificação, permitiram a possibilidade de avaliar estratégias de redução de consumo que podem ser replicadas para edifícios existentes e novos.

O levantamento atual e os anteriores a este estudo demonstraram que o edifício não atende aos parâmetros de eficiência energética desejáveis. O retrofit do sistema de iluminação permitiria a redução de 53,51% da potência do sistema, além de promover benefícios para a saúde e produtividade dos usuários através da melhoria dos índices de iluminância, bem como pelo aproveitamento da iluminação natural e, o retrofit do sistema de climatização permitiria a redução de 36,78% da potência do sistema. Juntas, as estratégias possibilitariam uma redução de 18,02% do consumo atual. Além destas, a adoção de dispositivos de proteção solar, melhorias de envoltória, automação e orientação dos usuários poderiam gerar uma economia ainda maior.

A geração de energia renovável foi monitorada durante um ano, permitindo estabelecer a taxa de desempenho para projetar os cenários de autossuficiência em energia. A taxa de desempenho de 0,92 está acima dos valores recomendados pela literatura e o edifício dispõe de área de telhado suficiente para gerar energia excedente ao consumo atual durante um ano, requisito básico para obtenção da certificação GBC Brasil Zero Energy. Os três cenários de autossuficiência em energia propostos no estudo apresentam viabilidade técnica e econômica, permitindo que o edifício L1 atenda aos requisitos de um *Zero Energy Building*. As análises demonstraram a importância dos subsídios dos programas de eficiência energética a fim de viabilizar e reduzir, consideravelmente, o tempo de retorno do investimento, liberando fluxo de caixa para a replicação das estratégias utilizadas em outros edifícios.

Por fim, a utilização da UPF como laboratório vivo para desenvolver e aplicar estratégias de NZEBs poderia estabelecer um campus autossuficiente em energia, com a posterior replicação dessas estratégias para outras tipologias de edifícios e para as cidades, com o objetivo de criar uma rede integrada de edificações autossuficientes, contribuindo de maneira integrada para a redução de emissões, com as metas do ODS7 da Agenda 2030 e para estabelecer infraestruturas resilientes e sustentáveis tendo em vista as mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5413**: Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15215-5**: Iluminação natural Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO/CIE 8995**: Iluminação dos ambientes de trabalho - Parte 1: Interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABRAVA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. **ABRAVA destaca a relação do coronavírus, o uso do ar-condicionado e a importância da manutenção**. 2021. Disponível em: <https://abrava.com.br/abrava-destaca-a-importancia-do-uso-do-ar-condicionado-e-sua-relacao-com-o-coronavirus/>. Acesso em: 1 jun. 2021.

ABSOLAR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Incentivos fiscais para geradores de energia solar passam a ter validade até 2022**. 2020. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/incentivos-fiscais-para-geradores-de-energia-solar-passam-a-ter-validade-ate-2022/>. Acesso em: 20 jun. 2021.

AELENEI, L.; GONÇALVES, H. From solar building design to Net Zero Energy Buildings: Performance insights of an office building. **Energy Procedia**, v. 48, p. 1236–1243, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.02.140>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS. **Projeto cobra encargos de distribuição de micro e minigeração de energia elétrica**. Disponível: <https://www.camara.leg.br/noticias/631158-projeto-isenta-micro-e-minigeracao-de-energia-eletrica-de-encargos-e-tarifas-de-distribuicao>. Acesso em: 20 jun. 2021.

AGÊNCIA BRASIL. **Copom aumenta taxa básica de juros para 9,25% ao ano**. 2022. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2021-12/copom-aumenta-taxa-basica-de-juros-para-9-25-ao-ano>. Acesso em: 31 jan. 2022.

AGUAYO-ULLOA, E.; VALDERRAMA-ULLOA, C.; ROUAULT, F. Analysis of energy data of existing buildings in a University Campus. **Revista de la Construcción**, v. 17, n. 1, p. 172–182, 2018. Disponível em: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2018000100172&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 20 set. 2021.

AGUILAR, G. J. R. **Metodologia para avaliação do dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2018. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-01102018-150148/publico/GuidoJavierRosteguiAguilarCorr18.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2020.

AKSAMIJA, A. Regenerative Design of Existing Buildings for Net-Zero Energy Use. **Procedia Engineering**, v. 118, p. 72–80, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.405>. Acesso em: 30 ago. 2020.

ALBADRY, S.; TARABIEH, K.; SEWILAM, H. Achieving Net Zero-Energy Buildings through Retrofitting Existing Residential Buildings Using PV Panels. **Energy Procedia**, v. 115, p. 195–204, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.018>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

ALLIPRANDINI, C. M. **Retrofit energético de um edifício educacional brasileiro para transformá-lo em um edifício energia zero**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Energia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2018.

ALKHATEEB, E.; ABU-HIJLEH, B. Potential for retrofitting a federal building in the UAE to net zero electricity building (nZEB). **Heliyon**, v. 5, n. 6, p. e01971, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01971>>. Acesso em 03 jan. 2022.

ALPER. **LED tube – Folha de especificações do produto**. 2021. Disponível em: http://www.alper.com.br/specsheets/tube-led_ss_cert.pdf. Acesso em: 26 mai. 2021.

ALTHOF, R. B.; PASSOLD, D.; MARQUES, T. D. Análise comparativa de revestimento de fachada: estudo de caso de substituição do revestimento cerâmico aderido por revestimento de ACM em fachada ventilada em um edifício. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n. 9, p. 93926-93942, 2021.

ANABA S. A.; OLUBUSOYE O. E. (2020) Electricity Generation from Renewable Resources. In: LEAL FILHO W., AZUL A., BRANDLI L., LANGE SALVIA A., WALL T. (eds) **Affordable and Clean Energy**, Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. 1 ed. Berlin: Springer International Publishing. Disponível em: http://doi-org-443.webvpn.fjmu.edu.cn/10.1007/978-3-319-71057-0_137-1. Acesso em: 13 out. 2020.

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, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 08 out. 2020.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **ANEEL anuncia bandeira tarifária verde até dezembro de 2020**. 2020. Disponível em: https://www.gov.br/aneelsala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/aneel-anuncia-bandeira-tarifaria-verde-ate-dezembro-de-2020/656877?inheritRedirect=false. Acesso em: 08 out. 2020.

ANJOS, R. S. **Análise e simulação de pontos quentes em painéis fotovoltaicos**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica) – Área Departamental de Engenharia Eletrotécnica Energia e Automação, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa 2016.

ARCHDAILY. **Creche em Florianópolis é a primeira do mundo com selo máximo de arquitetura sustentável**. 2019. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/927009/creche-em-florianopolis-e-a-primeira-do-mundo-com-selo-maximo-de-arquitetura-sustentavel>. Acesso em: 03 mar. 2021.

ASHRAE. **American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers. ASHRAE Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy.** ASHRAE, Atlanta – USA, 2004.

AUTODESK. **Software Autodesk Revit Architecture 2019.** Versão 19.0.0.420. Versão educacional. Autodesk, 2019.

BARROS, B. F.; BORELLI, R.; GEDRA, R. L. **Eficiência energética: Técnicas de aproveitamento, gestão de recursos e fundamentos.** São Paulo: Érica, 2015.

BALFOUR, J.; SHAW, M.; NASH, N. B. **Introdução ao projeto de sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: LTC, 2019.

BALVEDI, B. F.; SCHAEFER, A.; BAVARESCO, M. V.; ECCEL, J. V.; GHISI, E. Identificação de perfis de comportamento do usuário para edificações residenciais multifamiliares e naturalmente ventiladas em Florianópolis TT. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 3, p. 149–160, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000300273>. Acesso em: 03 jan. 2022.

BENDER, L. V.; LEITZKE, R. K.; FREITAS, J. R. DE; CUNHA, E. G. DA; SALAMONI, I. T. Estudo da paridade econômica e do desempenho energético de fachadas solares fotovoltaicas no extremo sul do Brasil. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 4, p. 489–508, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000400484>. Acesso em: 03 jan. 2022.

BERARDI, U.; MANCA, M.; CASALDALIGA, P.; PICH-AGUILERA, F. From high-energy demands to nZEB: The retrofit of a school in Catalonia, Spain. **Energy Procedia**, v. 140, p. 141–150, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.130>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

BID - BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO. **Vamos construir verde?: Guia prático para edificações, espaços públicos e canteiros sustentáveis no Brasil.** 2020. Disponível em: <https://publications.iadb.org/publications/portuguese/document/Vamos-construir-verde-Guia-pr%C3%A1tico-para-edificacoes-espacos-publicos-e-canteiros-sustent%C3%A1veis-no-Brasil.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2020.

BOOYSEN, M. J.; SAMUELS, J. A.; GROBBELAAR, S. S. LED there be light: The impact of replacing lights at schools in South Africa. **Energy and Buildings**, v. 235, p. 110736, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110736>>. Acesso em 03 jan. 2022.

BRASIL. GOVERNO DO BRASIL. **Sancionada lei que institui marco legal da geração distribuída.** 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2022/01/sancionada-lei-que-institui-marco-legal-da-geracao-distribuida>. Acesso em: 15 jan. 2022.

BRAVO HIDALGO, D.; BAEZ-HERNANDEZ, A. Technologies of zero energies buildings. A review. **Ingeniería Y Competitividad**, v. 21, n. 2, p. 1–11, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.25100/iyc.v21v2i.7150>. Acesso em: 05 set. 2021.

BRAZIL WINDPOWER. Cresce a demanda por certificados de energia renovável no Brasil. 2019. Disponível em:

<http://www2.ctee.com.br/brazilwindpower/2016/zpublisher/materia/?url=cresce-a-demanda-por-certificados-de-energia-renovavel-no-brasil-20190529#:~:text=Cada%20REC%20equivale%20a%201,ou%20uma%20comercializadora%20de%20energia.> Acesso em: 05 jun. 2021.

BRIÃO, V. B. Drinking Water from Rain: a Standalone Green Energy Powered Rainwater Purification System. 2019. Relatório de Pesquisa. Passo Fundo, 2019.

BORTOLIN, T. A. Eficiência energética em iluminação: Estudo de caso do campus de uma instituição de ensino superior da serra gaúcha. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos) – Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

BNDES - BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. Fundo Clima - Subprograma Energias Renováveis. 2021a. Disponível em:

[https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima-energias-renovaveis.](https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima-energias-renovaveis) Acesso em: 30 jun. 2021.

BNDES - BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. BNDES Finame - Baixo Carbono. 2021b. Disponível em:

[https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finame-baixo-carbono.](https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finame-baixo-carbono) Acesso em: 30 jun. 2021.

BRUGNERA, R. R.; MATEUS, R.; ROSSIGNOLO, J. A.; CHVATAL, K. M. S. Escritórios de planta livre: o impacto de diferentes soluções de fachada na eficiência energética.

Ambiente Construído, v. 19, n. 3, p. 295–315, 2019. Disponível em:

[https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000300339.](https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000300339) Acesso em: 30 set. 2021.

BRUNI, A. L.; FAMÁ, R. As decisões de investimentos. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

CALDAS, L. R.; NOGUEIRA, G. A. DA S.; MENDONÇA, M. M.; PEREIRA, E.

Edificações Energia Zero: Estudo de caso para painéis fotovoltaicos utilizando a avaliação do ciclo de Vida (ACV). **XIV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC); X Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído (ELACAC)**, n. 1, p. 1299–1307, 2017. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/321149277_EDIFICACOES_ENERGIA_ZERO_E_STUDO_DE_CASO_PARA_PAINEIS_FOTOVOLTAICOS_UTILIZANDO_A_AVALIACAO_DO_CICLO_DE_VIDA_ACV.](https://www.researchgate.net/publication/321149277_EDIFICACOES_ENERGIA_ZERO_E_STUDO_DE_CASO_PARA_PAINEIS_FOTOVOLTAICOS_UTILIZANDO_A_AVALIACAO_DO_CICLO_DE_VIDA_ACV) Acesso em: 30 set. 2021.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. SINAPI – a partir de Jul/2009 - RS: Relatório de Insumos e Composições – NOV/21 - com desoneração. 2021. Disponível em:

[https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_660.](https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_660) Acesso em: 30 dez. 2021.

CAMPOS, M. S.; ALCANTARA, L. D. S. Interpretação dos Efeitos de Tempo Nublado e Chuvoso Sobre a Radiação Solar em Belém/PA Para Uso em Sistemas Fotovoltaicos. **Revista**

Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 4, p. 570–579, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-7786312314b20150065>. Acesso em: 30 set. 2021.

CARLETTI, C.; CELLAI, G.; PIERANGIOLI, L.; SCIURPI, F.; SECCHI, S. The influence of daylighting in buildings with parameters nZEB: Application to the case study for an office in Tuscany Mediterranean area. **Energy Procedia**, v. 140, p. 339–350, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.147>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

CILUZ. **Fototoxicidade: Os efeitos nocivos das lâmpadas LED em nossas retinas**. 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/922879/fototoxicidade-os-efeitos-nocivos-das-lampadas-led-em-nossas-retinas>. Acesso em: 2 jun. 2021.

COLLADO, N.; HIMPE, E.; GONZÁLEZ, D.; RUEDA, L. Retos para una definición de edificios de consumo energético casi nulo. **Revista ingeniería de construcción**, v. 34, n. 3, p. 321–329, 2019. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732019000300321>. Acesso em: 12 jan. 2022.

COSTA, L. M.; ALVAREZ, C. E. DE; MARTINO, J. A. Proposta de método de projeto baseado no desempenho para edifícios energeticamente eficientes. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 2, p. 409–433, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000200533>. Acesso em: 12 set. 2021.

CPFL - Companhia Paulista de Força e Luz. **GED – 13. Fornecimento em Tensão Secundária de Distribuição**. 2020. Versão 2.24. Disponível em: <http://sites.cpfl.com.br/documentos-tecnicos/GED-13.pdf>. Acesso em: 24 out 2020.

CPFL - Companhia Paulista de Força e Luz. **Chamada Pública de Projetos - Programa de Eficiência Energética – PEE**. 2021. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br/energias-sustentaveis/eficiencia-energetica/chamada-publica/Paginas/chamada-publica.aspx>. Acesso em: 10 jun. 2021.

CRESESB. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. 2018. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em: 14 mai. 2021.

CTE. CENTRO DE TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES. **Estratégias e práticas para a produção de edifícios zero energy**. 2021. Disponível em: https://cte.com.br/blog/sustentabilidade/estrategias-e-praticas-para-a-producao-de-edificios-zero-energy/?utm_campaign=diwe_newsletter_maiou_1_quinzena&utm_medium=email&utm_source=RD+Station. Acesso em: 27 mai. 2021.

D’AGOSTINO, D.; CUNIBERTI, B.; MASCHIO, I. Criteria and structure of a harmonized data collection for NZEBs retrofit buildings in Europe. **Energy Procedia**, v. 140, p. 170–181, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.133>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

D’AGOSTINO, D.; TSEMEKIDI, S.; ZANGHERI, P.; BERTOLDI, P. Assessing Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) development in Europe. **Energy Strategy Reviews**, v. 36, n. March, p. 100680, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100680>>. Acesso em 03 jan. 2022.

DALLA ROSA, F. **Vista aérea do edifício L1 da UPF**. Passo Fundo, 2019. 1 fotografia aérea.

DALMOLIN, B. M; MORETTO, C. M. (Org.) **Política de Responsabilidade Social 2013/2016**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2014.

DANELI, R. C. **O impacto da eficiência energética em sistemas de consumo: um estudo de caso**. 2019. Dissertação (Mestrado em Projeto e Processos de fabricação) – Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de fabricação, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2019.

DIAS, P. R. **Caracterização e Reciclagem de Materiais de Módulos Fotovoltaicos (Painéis Solares)**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de minas, metalúrgica e de materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

DIAWUO, F. A. Lighting Energy Need and Sustainability. 2020. In: LEAL FILHO W., AZUL A., BRANDLI L., LANGE SALVIA A., WALL T. (eds) **Affordable and Clean Energy, Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals**. 1 ed. Berlin: Springer International Publishing, 2020, p. 1-13. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-71057-0_45-1. Acesso em: 21 jan. 2022.

DELAVAR, H.; SAHEBI, H. A sustainable mathematical model for design of net zero energy buildings. **Heliyon**, v. 6, n. 1, p. e03190, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03190>. Acesso em: 15 ago. 2020.

DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY – TU DELFT. **Sustainability**. 2020a. Disponível em: <https://campusdevelopment.tudelft.nl/en/theme/sustainability/>. Acesso em 10 out. 2020.

DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY – TU DELFT. **Solar cells on TU Delft roofs**. 2020b. Disponível em: <https://campusdevelopment.tudelft.nl/en/project/solar-cells-on-tu-delft-roofs/>. Acesso em: 10 out. 2020.

DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY – TU DELFT. **Pulse**. 2020c. Disponível em: <https://campusdevelopment.tudelft.nl/en/project/pulse/>. Acesso em: 10 out. 2020.

DIAL GMBH. **DIALux Evo 9.1**. 2020. Disponível em: <https://www.dialux.com/en-GB/download/>. Acesso em: 2 out. 2020.

DIDONÉ, E. L.; WAGNER, A.; PEREIRA, F. O. R. Estratégias para edifícios de escritórios energia zero no Brasil com ênfase em BIPV TT. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 3, p. 27–42, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000300003&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.br/pdf/ac/v14n3/03.pdf. Acesso em: 12 set. 2021.

DNV. **DNV Energy Transition Outlook 2021 executive summary: A global and regional forecast to 2050**. 2021. Disponível em: <https://eto.dnv.com/2021/about-energy-transition-outlook>. Acesso em: 5 jan. 2022.

DOWDS, M.; YOU, S. Economic analysis of the routes for fulfilment of net-zero energy buildings (NZEBs) in the UK. **Energy Procedia**, v. 158, p. 3541–3546, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.914>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

DUARTE, V. C. P.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Assessing the energy performance of VAV and VRF air conditioning systems in an office building located in the city of Florianópolis. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 2, p. 261–283, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000200399>. Acesso em 15 jan. 2022.

EIA - U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Brazil's net metering policy leads to growth in solar distributed generation**. 2019. Disponível em: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=42035>. Acesso em: 13 mai. 2021.

EIA - U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2020**. 2020. Disponível em: https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf. Acesso em: 08 out. 2020.

EMBRAPA. **Clima de Passo Fundo - Normais climatológicas**. 2001. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/Clima_de_Passo_Fundo.pdf. Acesso em 15 out. 2020.

ENERDATA. **Global Energy Statistical Yearbook 2020**. 2020. Disponível em: <https://yearbook.enerdata.net/electricity/world-electricity-production-statistics.html>. Acesso em: 29 ago. 2020.

ENERDATA. **Global Energy Statistical Yearbook 2021**. 2021a. Disponível em: <https://yearbook.enerdata.net/electricity/electricity-domestic-consumption-data.html>. Acesso em: 24 jan. 2021.

ENERDATA. **Global Energy Statistical Yearbook 2021**. 2021b. Disponível em: <https://yearbook.enerdata.net/electricity/world-electricity-production-statistics.html>. Acesso em: 24 jan. 2021.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **NOTA TÉCNICA PR 04/18 - Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050**. 2018a. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/NT04%20PR_RecursoEnergeticos%202050.pdf. Acesso em: 29 ago. 2020.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano decenal de expansão de energia 2024**. 2018b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-45/topico-79/Relat%C3%B3rio%20Final%20do%20PDE%202024.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2020.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Mudanças Climáticas e Desdobramentos sobre os Estudos de Planejamento Energético: Considerações Iniciais**. 2018c. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/Mudancas%20Climaticas%20e%20Planejamento%20Energetico.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2022.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Atlas eficiência energética Brasil 2020**. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2020>. Acesso: em 5 jan. 2022.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço energético nacional 2021 – relatório síntese / ano base 2020**. 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202021-ab%202020_v2.pdf. Acesso em 31 mai. 2021.

FANT, C.; BOEHLERT, B.; STRZEPEK, K.; LARSEN, P.; WHITE, A.; GULATI, S.; LI, Y.; MARTINICH, J. Climate change impacts and costs to U.S. electricity transmission and distribution infrastructure. **Energy**, v. 195, p. 116899, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.116899>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

FIGUEROA-LOPEZ, A.; ARIAS, A.; OREGI, X.; RODRÍGUEZ, I. Evaluation of passive strategies, natural ventilation and shading systems, to reduce overheating risk in a passive house tower in the north of Spain during the warm season. **Journal of Building Engineering**, v. 43, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102607>. Acesso em: 15 jan. 2022.

FRANDOLOSO. M. A. L. **La inserción de la eficiencia energética en los edificios universitarios brasileños: las políticas y los procesos de toma de decisiones**. Tese (Doutorado em Arquitetura, Energia e Meio Ambiente) – Escola Técnica Superior d'Arquitectura, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona: UPC, 2018. Disponível em: <http://www.tdx.cat/handle/10803/461416>. Acesso em: 15 out. 2020.

FRANDOLOSO, M. A. L. Sustainability on Campus. In: LEAL FILHO, W. (org.). **Encyclopedia of Sustainability in Higher Education**. 1 ed. Berlin: Springer International Publishing, 2019, p. 1-12. ISBN: 9783319639512. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-63951-2_515-1. Acesso em: 15 out. 2020.

FRANDOLOSO, M. A. L. **Análise e Diagnóstico da Ecoeficiência na Universidade de Passo Fundo**. (4ª Renovação) - Projeto 4411. Projeto de Pesquisa. Passo Fundo, 2020.

FRANDOLOSO, 2021. **O uso de microalgas na envoltória das edificações para mitigação/sequestro de carbono**. Projeto de Pesquisa – Programa Pesquisador Gaúcho FAPERGS. Termo de Outorga 21/2551-0002317-1. Arquivo digital, 2021.

FRANDOLOSO M. A. L.; CUNHA E. G.; BURGOS, A. C. The decision-making process towards implementing energy efficiency in a university-built park in southern Brazil. **International Journal of Hydrology**, v.5, n. 6, p. 265-279, 2021. Disponível em: [10.15406/ijh.2021.05.00288](https://doi.org/10.15406/ijh.2021.05.00288).

FLORIANÓPOLIS, Prefeitura Municipal de. **Ministro da Educação vai inaugurar Creche Hassis**. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/entidades/educa/?pagina=notpagina¬i=13627>. Acesso em: 03 mar. 2021.

FONSECA, R. W. DA; PEREIRA, F. O. R. Sequência metodológica para a estimativa da iluminação natural e suas implicações em sistemas de avaliação de desempenho de edificações. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 55–68, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000100123>. Acesso em: 20 set. 2021.

FUNDACENTRO. **Norma de Higiene Ocupacional nº11: Procedimento técnico Avaliação dos níveis de iluminação em ambientes internos de trabalho**. São Paulo, 2018.

GARDE, F.; LENOIR, A.; SCOGNAMIGLIO, A.; et al. Design of net zero energy buildings: Feedback from international projects. **Energy Procedia**, v. 61, n. November 2008, p. 995–998, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.1011>>. Acesso em 20 set. 2020.

GBC BRASIL - GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Petinelli é a primeira empresa brasileira a ganhar o Leadership Awards 2019, nos Estados Unidos**. 2019a. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/petinelli-e-a-primeira-empresa-brasileira-a-ganhar-o-leadership-awards-2019-nos-estados-unidos/>. Acesso em: 13 out. 2020.

GBC BRASIL - GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Certificação GBC Brasil Zero Energy é recebida em Salvador**. 2019b. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao-gbc-brasil-zero-energy-e-recebida-em-salvador/>. Acesso em: 13 mar. 2020.

GBC BRASIL - GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Certificação GBC Brasil Zero Energy**. 2020. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/docs/zero.pdf>. Acesso em: 30 set. 2020.

GBC BRASIL - GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Programa Zero Energy do Paraná prevê economia de R\$ 6,4 milhões por ano**. 2021. Disponível em: https://www.gbcbrasil.org.br/programa-zero-energy-do-parana-preve-economia-de-r-64-milhoes-por-ano/?utm_campaign=newsletter_janeiro_2021&utm_medium=email&utm_source=RD+Station. Acesso em: 12 fev. 2021.

GBC BRASIL - GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Empreendimentos GBC Zero energy**. 2022. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao/zero-energy/empreendimentos/>. Acesso em: 25 mar. 2022.

GEBRAN, A. P.; RIZZATTO, F. A. P. **Instalações elétricas prediais**. Porto Alegre: Bookman, 2017.

GIROTTI, C.; MARINS, K. R. DE C.; LARA, A. H. Análise da morfologia urbana para maximização de geração de energia fotovoltaica no Belenzinho, em São Paulo. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 4, p. 7–22, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000400340>. Acesso em: 20 set. 2020.

GRIMONI, J. A. B.; BARRETO, G. A. Geração distribuída e redes inteligentes. In: MOREIRA, J.R.S. (org.). **Energias Renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

GODOI, R. R., MELO, F. C., FREITAS, L. C. G., FARIAS, V. J., DRUMOND, P. **Análise comparativa de desempenho de inversor string e microinversor instalados no sistema fotovoltaico FEELT-NUPEP-UFU**. 2018. In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado: 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/317/317>. Acesso em: 1 jun. 2021.

GUIMARÃES, L. M. N. R. Alternative Energy: Sources and Future Trends. In: LEAL FILHO W., AZUL A., BRANDLI L., LANGE SALVIA A., WALL T. (eds). *Affordable and Clean Energy, Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*. 1 ed. Berlin: Springer International Publishing, 2020, p. 2-11. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-71057-0_1-1. Acesso em: 30 ago. 2020.

G1. Governo eleva de R\$ 9 bi para R\$ 13 bi previsão de gasto com termelétricas; consumidor paga. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/07/11/governo-eleva-de-r-9-bi-para-r-13-bi-previsao-de-gasto-com-termeletricas-consumidor-paga.ghtml> Acesso em 20 jun. 2021.

HALL, M.; GEISSLER, A. Different balancing methods for Net Zero Energy Buildings - Impact of time steps, grid interaction and weighting factors. **Energy Procedia**, v. 122, p. 379–384, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.422>>. Acesso em 20 set. 2020.

HILL, A.; HAN, Y.; TAYLOR, J. E.; SHEALY, T.; PEARCE, A.; MOHAMADDI, N. Empirical examination of pro-environmental behaviors in traditional, green featured, and LEED certified buildings. **Energy Procedia**, v. 158, p. 3982–3987, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.843>>. Acesso em 20 set. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Passo Fundo**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/passos-fundo.html>. Acesso em: 29 jan. 2021.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Chuva acumulada mensal x chuva (normal climatológica 61-90)**. 2022. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/>. Acesso em 04 mar. 2022.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Portaria nº 42, de 24 de fevereiro de 2021**: Aprova a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) que aperfeiçoa os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), especificando os critérios e os métodos para a classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à sua eficiência energética. 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-42-de-24-de-fevereiro-de-2021-307486285>. Acesso em: 10 jan. 2022.

INNES, M. **Iluminação no design de interiores**. São Paulo: Gustavo Gili, 2014.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA. **Agenda 2030: ODS - Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2018a. Disponível em:

https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=33895&Itemid=433. Acesso em: 04 out. 2020.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. 2018b. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8400/1/TD_2388.pdf. Acesso em: 23 out. 2020.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Efficiency 2019**. 2019a. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2019>. Acesso em: 29 ago. 2020.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2019**. 2019b. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>. Acesso em: 29 ago. 2020.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Electricity**. 2019c. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019/electricity#abstract>. Acesso em: 29 ago. 2020.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Energy Review 2020**. 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020/electricity#abstract>. Acesso em: 12 set. 2020.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Electricity**. 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity>. Acesso em: 12 jul. 2022.

IUDÍCIBUS, S. **Contabilidade gerencial: da teoria à prática**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2020.

KEELER, M.; VAIDYA, P. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis**. 2. ed. Porto Alegre, Bookman, 2018.

KIBERT, C.J. **Edificações sustentáveis: Projeto, construção e operação**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2020.

KOSONEN, A.; KESKISAARI, A. Zero-energy log house – Future concept for an energy efficient building in the Nordic conditions. **Energy and Buildings**, v. 228, p. 110449, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110449>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

KOWALTOWSKI, D.; MOREIRA, D.C.; PETRECHE, J. R. D.; FABRÍCIO, M. M. **O processo de projeto em arquitetura**. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: Pro-livros, 2014.

LEIDEN UNIVERSITY. **How sustainable is Leiden University?**. 2020. Disponível em: <https://www.universiteitleiden.nl/en/news/2020/07/how-sustainable-is-leiden-university>. Acesso em: 24 mai. 2021.

LEIVO, V.; KIVISTE, M.; AALTONEN, A.; TURUNEN, M.; HAVERINEN-SHAUGHNESSY, U. Impacts of energy retrofits on hygrothermal behavior of Finnish multi-

family buildings. **Energy Procedia**, v. 132, p. 700–704, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.009>>. Acesso em 20 set. 2020.

LIM, G. H.; HIRNING, M. B.; KEUMALA, N.; GHAFAR, N. A. Daylight performance and users' visual appraisal for green building offices in Malaysia. *Energy and Buildings*, v. 141, p. 175–185, 2017. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.028>>.

LIU, Z.; ZHOU, Q.; TIAN, Z.; HE, B. JIE; JIN, G. A comprehensive analysis on definitions, development, and policies of nearly zero energy buildings in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 114, n. July 2019, p. 109314, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109314>>. Acesso em 20 set. 2020.

LOEFFLER, R.; ÖSTERREICHER, D.; STOEGLEHNER, G. The energy implications of urban morphology from an urban planning perspective – A case study for a new urban development area in the city of Vienna. **Energy and Buildings**, v. 252, p. 111453, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111453>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

LOZADA, G.; NUNES, K. S. **Metodologia Científica**. Porto Alegre: Sagah, 2018.

LOPES, A. C. S. **Avaliação de duas propostas de sistema de iluminação artificial suplementar ao sistema de iluminação natural existente em sala de aula padrão**. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MÄHLMANN, F. G. **Conforto Ambiental**. Porto Alegre: Sagah, 2018.

MARTINEZ, D. M; EBENHACK, B. W.; WAGNER, T.P. **Energy Efficiency: Concepts and Calculations**. Elsevier Science, 2018.

MASCARENHAS, S. A. **Metodologia Científica**. 2. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2018.

MASAKAZU, H. **Gestão financeira e econômica: didática, objetiva e prática**. São Paulo: Atlas, 2019.

MATANA JÚNIOR, S., MAGRO, M. L., FRITSCH, R. C. **Estudo de retrofit em iluminação no prédio da faculdade de arquitetura e urbanismo da UPF**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Design e Interiores) – Curso de Pós-Graduação em Design e Interiores, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2019.

MCCOY, M.; MOMMSEN, T. P.; FARRELL, J.; LIEM, K. Community Solar: Strategies and Implementation for Sustainability. In: LEAL FILHO W., AZUL A., BRANDLI L., LANGE SALVIA A., WALL T. (eds) **Affordable and Clean Energy, Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals**. 1 ed. Berlin: Springer International Publishing, p. 1–18, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-71057-0_148-1. Acesso em: 19 jan. 2022.

MCTI - **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações**. Fator médio - Inventários corporativos. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>. Acesso em: 24 fev. 2022.

MELO, E. F. R. Q. et al. **El análisis bioclimático del Campus I de la Universidad de Passo Fundo - Brasil: la influencia de la vegetación en el microclima urbano**. En: PARJAP Argentina 2007: planeamiento y gestión de los espacios verdes, V Congreso Iberoamericano de Parques y Jardines, San Miguel de Tucumán, 05-08 Nov 2007.

MOADAB, N. H.; OLSSON, T.; FISCHL, G.; ARIES, M. Smart versus conventional lighting in apartments - Electric lighting energy consumption simulation for three different households. **Energy and Buildings**, v. 244, p. 111009, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111009>>. Acesso em: 18 jan. 2022.

MONASH UNIVERSITY. **Monash Netzero Initiative**. 2020. Disponível em: https://www.monash.edu/__data/assets/pdf_file/0020/1140365/Monash-Net-Zero-Brochure.pdf#. Acesso em: 08 out. 2020.

MONASH UNIVERSITY. **Net Zero buildings**. 2021. Disponível em: <https://www.monash.edu/net-zero-initiative/facilities/net-zero-buildings>. Acesso em: 02 jun. 2021.

MOREIRA JÚNIOR, O.; SOUZA, C. C. DE. Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha. **Interações**, v. 21, n. 2, p. 379–387, 2020. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1518-70122020000200379&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 12 nov. 2020.

MORSCH, M. R. S.; FRANDOLOSO, M. A. L.; MARTINELLI, A. A. S.; FERRARINI, M.; CARBONERA, V. E. **Iluminação natural em salas de aula: estudos de caso V2 da Universidade de Passo Fundo**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 6, 2017, Passo Fundo. Seminário Internacional de Construções Sustentáveis. Passo Fundo: IMED, 2017. p. 298 – 307.

MURANO, G.; PRIMO, E.; CORRADO, V. The effect of glazing on nZEB performance. **Energy Procedia** v. 148, p. 320–327, 2018. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/328594230_The_effect_of_glazing_on_nZEB_perormance](https://www.researchgate.net/publication/328594230_The_effect_of_glazing_on_nZEB_performance). Acesso em: 12 jan. 2022.

MURTO, P.; JALAS, M.; JUNTUNEN, J.; HYYSALO, S. Devices and strategies: An analysis of managing complexity in energy retrofit projects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 114, n. July, p. 109294, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109294>>. Acesso em 20 set. 2020.

NAKANO, A.; PACHECO, C. R. F.; GRIMONI, J. A. B. Princípios dos geradores fotovoltaicos conectados à rede elétrica. In: MOREIRA, J.R.S. (org.). **Energias Renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

NETO, A. H.; IOSHIMOTO, E.; YAMADA, E.S.; KATO, E.; NEVES, L. O. Eficiência Energética. In: MOREIRA, J.R.S. (org.). **Energias Renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

NETO, A. H.; IOSHIMOTO, E.; YAMADA, E. S.; KATO, E. A.; NEVES, L. O. Eficiência energética. In: MOREIRA, J.R.S. (org.). **Energias Renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021

OH, J.; HONG, T.; KIM, H; AN, J.; JEONG, K.; KOO, C. Advanced Strategies for Net-Zero Energy Building: Focused on the Early Phase and Usage Phase of a Building's Life Cycle. **Sustainability**, v. 9. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su9122272>. Acesso em 20 set. 2020.

OLIVEIRA, L. B.; FORTES, M. Z.; PEREIRA, A. M. E.; FRAGOSO, A.P.; TAVARES, G. M. Retrofit em sistemas de iluminação predial – estudo de caso com lâmpadas LED. **Sinergia**, v. 19, n.1, p. 66.74. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326398825_RETROFIT_EM_SISTEMAS_DE_ILUMINACAO_PREDIAL_-_ESTUDO_DE_CASO_COM_LAMPADAS_LED. Aceso em 15 jan. 2022.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **17 Objetivos para transformar nosso mundo**. 2020a. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/>. Acesso em: 29 ago. 2020.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo 7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos**. 2020b. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods7/>. Acesso em: 29 ago. 2020.

ORNSTEIN, S.E., VILLA, S. **Qualidade ambiental na habitação – avaliação pós-ocupação**. São Paulo: Oficina de textos, 2016.

OUR WORLD IN DATA. **Energy**. 2018. Disponível em: <https://ourworldindata.org/energy#citation>. Acesso em: 11 set. 2020.

OUR WORLD IN DATA. **Share of electricity production by source, World, 2020**. 2021. Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/share-elec-by-source?time=latest>. Acesso em: 31 mai. 2021.

PASSO FUNDO. **Diagnóstico participativo Volume I**. 2019. Disponível em: http://www.pmpf.rs.gov.br/files/revisao_plano_diretor_etapa2_2019_volume1a.pdf. Acesso em: 8 out. 2020.

PARENTE, V. Análise de investimentos aplicada a projetos de energia. In: MOREIRA, J.R.S. (org.). **Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

PBE EDIFICA. **Manual para Aplicação do RTQ-C**. 2013. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/m anualv02_1.pdf. Acesso em: 8 out. 2020.

PICCARDO, C.; DODOO, A.; GUSTAVSSON, L. Retrofitting a building to passive house level: A life cycle carbon balance. **Energy and Buildings**, v. 223, p. 110135, 2020. The Authors. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110135>>. Acesso em 12 jan. 2022.

PNUD - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO.

Glossário de termos do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7: Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos. 2018.

Disponível em: <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/library/ods/glossario-do-ods-7.html>. Acesso em: 04 out 2020.

PRADO, P. F. DE A. **Reciclagem de Painéis Fotovoltaicos e Recuperação de Metais.**

Dissertação (Mestrado em Ciências), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

RABANI, M.; MADESSA, H. B; NORD, N. Achieving zero-energy building performance with thermal and visual comfort enhancement through optimization of fenestration, envelope, shading device, and energy supply system. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 44, n. January, p. 101020, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101020>>. Acesso em 19 jan. 2022.

RADZI, S. F. M.; HASSAN, M. S. Energy Efficiency and Sustainability. In: LEAL FILHO W., AZUL A., BRANDLI L., LANGE SALVIA A., WALL T. (eds) *Affordable and Clean Energy, Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*. 1 ed. Berlin: Springer International Publishing, 2020, p. 1-12. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-71057-0_15-1. Acesso em 19 jan. 2022.

REBELATTO, B. G. **Eficiência Energética nas Universidades: uma contribuição para o Objetivo do Desenvolvimento Sustentável 7.** 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2019.

REC BRAZIL. **Certificações.** 2021. Disponível em:

<https://www.recbrazil.com.br/certificacoes.html>. Acesso em: 5 jun. 2021.

REDE BRASIL DO PACTO GLOBAL. **Cartilha Pacto Global.** 2019. Disponível em:

https://pactoglobal.org.br/assets/docs/cartilha_pacto_global.pdf. Acesso em: 04 out. 2020.

REDE BRASIL DO PACTO GLOBAL. **Integração dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Setor Elétrico Brasileiro: Indicadores e Metas.** 2020. Disponível em:

[https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/revista_integracao_dos_ods_setor_eletrico/\\$FILE/Revista%20Integra%C3%A7%C3%A3o%20dos%20ODS%20-%20Setor%20el%C3%A9trico.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/revista_integracao_dos_ods_setor_eletrico/$FILE/Revista%20Integra%C3%A7%C3%A3o%20dos%20ODS%20-%20Setor%20el%C3%A9trico.pdf). Acesso em: 04 out. 2020.

RIO GRANDE DO SUL. **Atlas socioeconômico Rio Grande do Sul.** 2020. Disponível em:

<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/geracao-e-transmissao-de-energia>. Acesso em: 11 set. 2020.

SACHS, J., SCHMIDT-TRAUB, G., KROLL, C., LAFORTUNE, G., FULLER, G., WOELM, F. **Sustainable Development Report 2020: The Sustainable Development Goals and COVID-19.** 2020. Disponível em:

https://s3.amazonaws.com/sustainabledevelopment.report/2020/2020_sustainable_development_report.pdf. Acesso em: 04 out. 2020.

SAILOR, D. J.; ANAND, J.; KING, R. R. Photovoltaics in the built environment: A critical review. **Energy and Buildings**, v. 253, p. 111479, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111479>>. Acesso em 19 jan. 2022.

SANTESSO, C. A.; CHVATAL, K. M. S. Consumo energético de salas de escritório climatizadas de modo misto em São Paulo: considerações sobre o projeto. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 4, p. 119–137, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000400297>. Acesso em: 19 jan. 2022.

SANTOS, A. B., GRIGOLETTI, G. C. **Eficientização energética de unidade operacional dos correios**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos) - Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

SCOGNAMIGLIO, A.; ADINOLFI, G.; GRADITI, G.; SARETTA, E. Photovoltaics in net zero energy buildings and clusters: Enabling the smart city operation. **Energy Procedia**, v. 61, p. 1171–1174, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.1046>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

SEBRAE - SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS - SEBRAE. **Centro Sebrae de Sustentabilidade**. 2020. Disponível em: <http://sustentabilidade.sebrae.com.br/sites/Sustentabilidade/Institucional/Quem-Somos>. Acesso em: 12 out. 2020.

SILVA, F. P; ALVES, A. **Análise de investimentos e fontes de financiamento**. Porto Alegre: Sagah, 2018.

SOLAUN, K.; CERDÁ, E. Climate change impacts on renewable energy generation. A review of quantitative projections. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 116, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109415>. Acesso em: 15 ago. 2020.

SOLARVIEW. **Equivalências de economia – Sustentabilidade**. 2021. Disponível em: <https://my.solarview.com.br/base-conhecimento/equivalencias-de-economia-sustentabilidade/>. Acesso em: 5 jun. 2021.

SOUZA, G. R.; PENHA, R. S. Viabilidade Econômica de um Projeto de Investimento de Energia Fotovoltaica. **RAGC**, v.8, n.35, p.113-128. 2020.

SOWMY, D. S. O. Energia solar – tecnologia e aplicações. In: MOREIRA, J.R.S. (Org). **Energias Renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

TEBBOUCHE, H.; BOUCHAIR, A.; GRIMES, S. Towards an environmental approach for the sustainability of buildings in Algeria. **Energy Procedia**, v. 119, p. 98–110, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.053>>. Acesso em 20 set. 2020.

TESTO. **Software IRSoft. 2021**. Disponível em: <https://www.testo.com/pt-BR/produtos/termografia-irsoft>. Acesso em: 26 mai. 2021.

THOY, E. J. W.; GO, Y. I. Enhancement and validation of building integrated PV system: 3D modelling, techno-economics and environmental assessment. **Energy and Built Environment**, n. May, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.05.001>>. Acesso em 20 jan. 2022.

TRINA SOLAR. **Datasheet Tallmax TSM-DE15H (II)**. 2019. Disponível em: https://static.trinasolar.com/sites/default/files/EU_TSM_DE15H%28II%29_datasheet_A_2019_Web.pdf. Acesso em: 18 jun. 2021.

UBERLÂNDIA REFRESCOS. **Unidade Alexandre Biagi recebe certificações LEED Platinum e Zero Energy**. 2019. Disponível em: <https://www.cocacolauberlandia.com.br/unidade-alexandre-biagi-recebe-certificacoes-lead-platinum-e-zero-energy/>. Acesso em: 24 mar. 2020.

UEFI - UNIVERSITY OF EASTERN FINLAND. **Sustainable development**. Disponível em: <https://www.uef.fi/en/sustainable-development#:~:text=The%20university%20uses%20100%25%20renewable,generated%20from%20renewable%20energy%20sources>. Acesso em: 24 mai. 2021.

UI GREEN METRIC. **Methodology**. 2020a. Disponível em: <http://greenmetric.ui.ac.id/methodology-new/#1560219964621-6b9d5419-9e0a>. Acesso em: 10 out. 2020.

UI GREEN METRIC. **Criteria e indicators**. 2020b. Disponível em: <http://greenmetric.ui.ac.id/criteria-indicator/>. Acesso em: 10 out. 2020.

UI GREEN METRIC. **Overall Rankings 2021**. 2021. Disponível em: <http://https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/overall-rankings-2021>. Acesso em: 27 jan. 2021.

UNICAMP - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **Campus sustentável**. 2020a. Disponível em: <http://www.campus-sustentavel.unicamp.br/sobre/>. Acesso em: 08 out. 2020.

UNICAMP - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **Campus sustentável**. 2020b. Disponível em: <http://www.campus-sustentavel.unicamp.br/pv/>. Acesso em: 08 out. 2020.

UNIVALI - UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ. **Campus da Univali em Biguaçu é o primeiro do País a gerar 100% de sua energia**. 2018. Disponível em: <https://www.univali.br/noticias/Paginas/campus-da-univali-em-biguaçu-e-o-primeiro-do-pais-a-gerar-100-de-sua-energia.aspx>. Acesso em: 12 out. 2020.

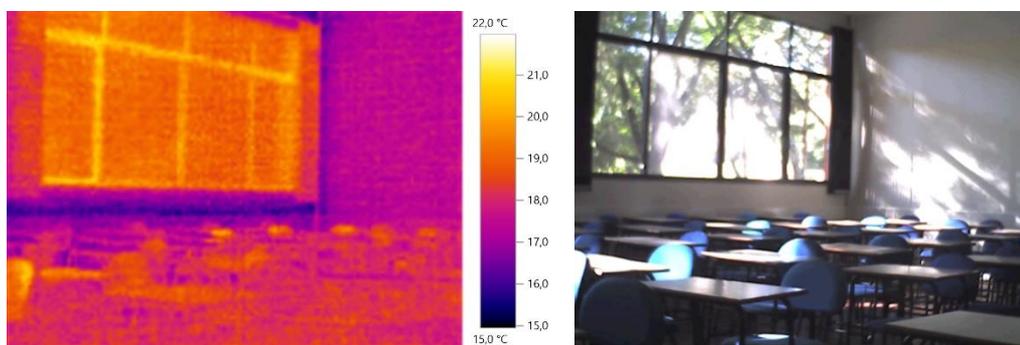
UPF. UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO. **Plano de desenvolvimento institucional: plano quinquenal para o desenvolvimento institucional da UPF 2017 - 2021**. 2016. Passo Fundo: Comissão do Plano de Desenvolvimento Institucional.

UPF - UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO. **UPF em números**. 2020a. Disponível em: <https://www.upf.br/comunicacao/area-imprensa/upf-em-numeros>. Acesso em: 25 mar. 2022.

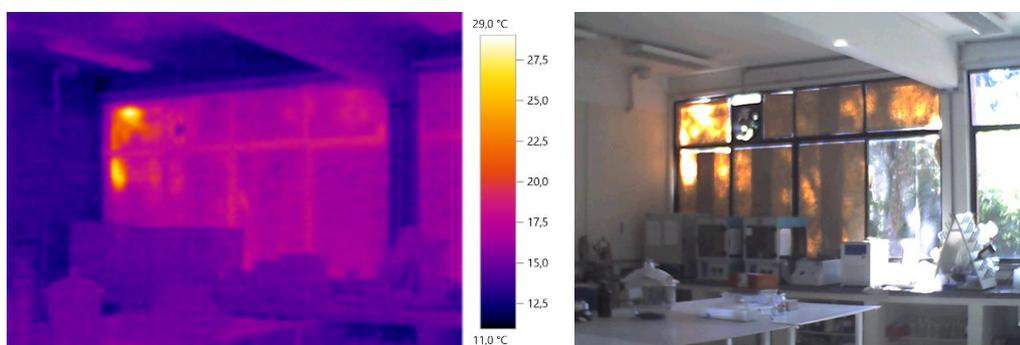
UPF - UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO. **FUPF: Instituição recebe Certificado de Energia Renovável 2020**. 2020b. Disponível em: <https://www.upf.br/noticia/fupf-instituicao-recebe-certificado-de-energia-renovavel->

APÊNDICE A – Imagens termográficas

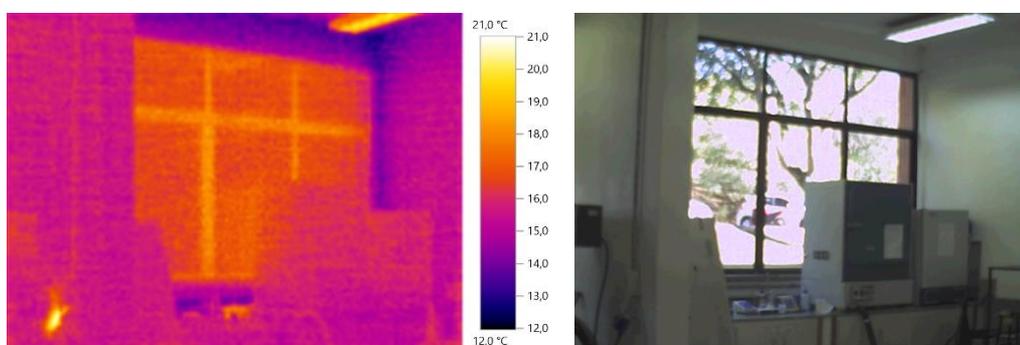
Medições de Outono – às 15h do dia 19 de maio de 2021 (céu limpo)



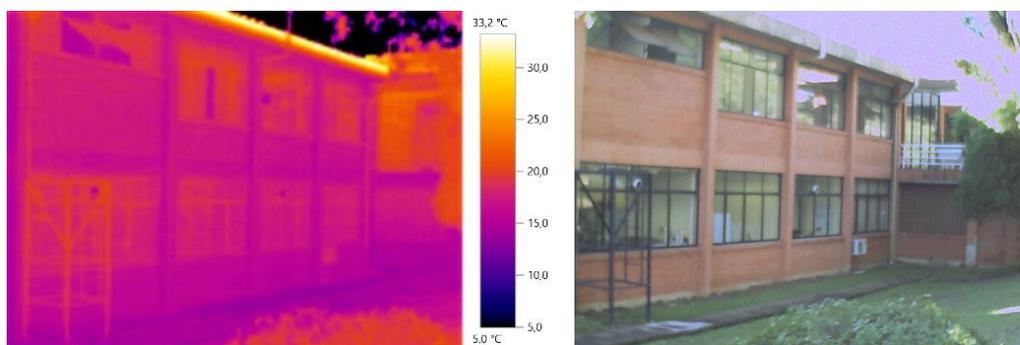
Sala de aula



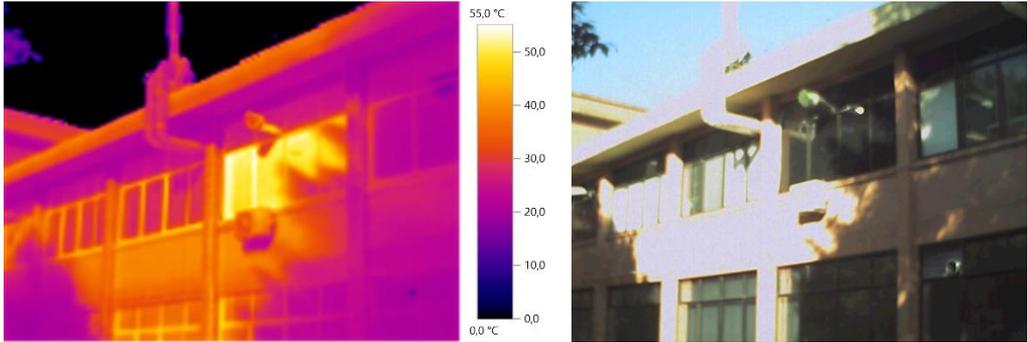
Laboratório de processos químicos



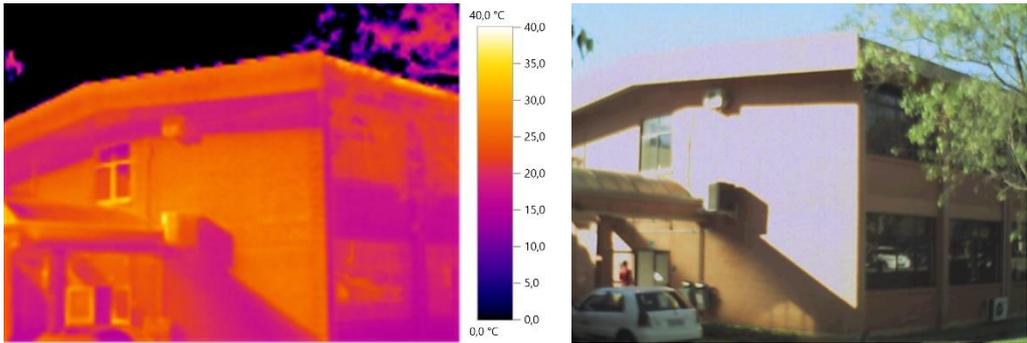
Laboratório de operações unitárias



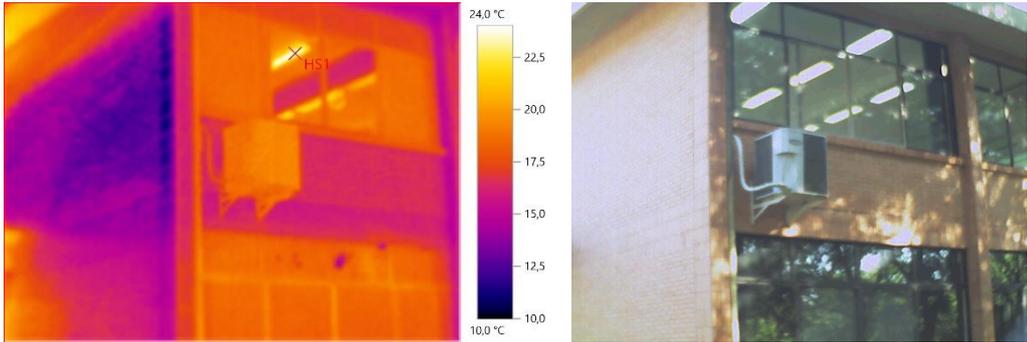
Fachada sul



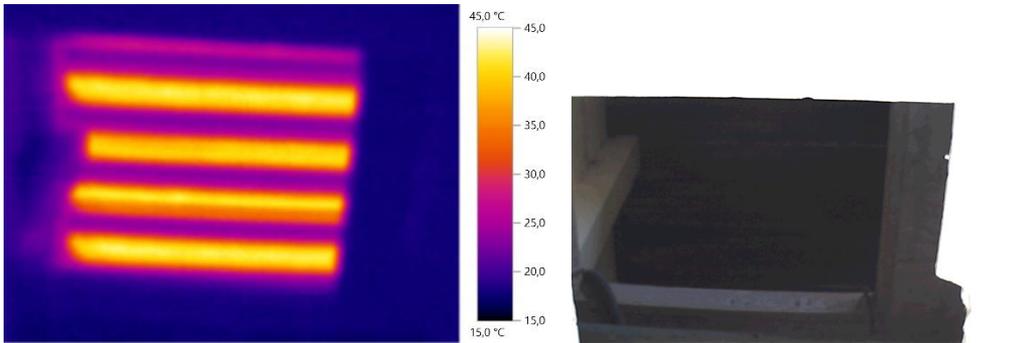
Fachada norte



Fachada oeste

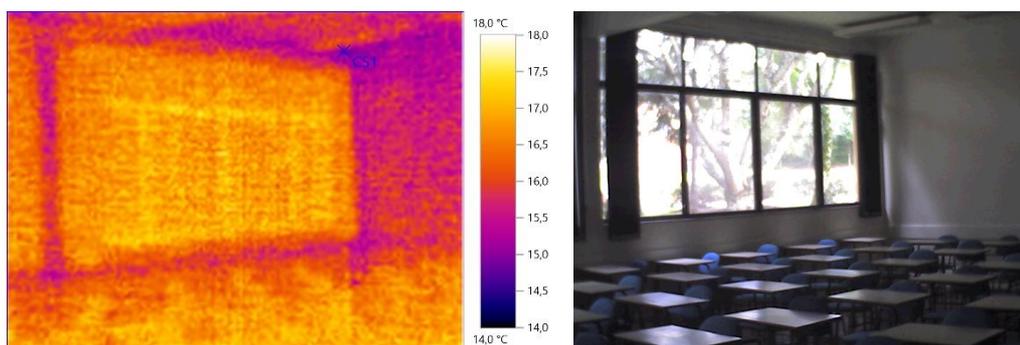


Fachada leste

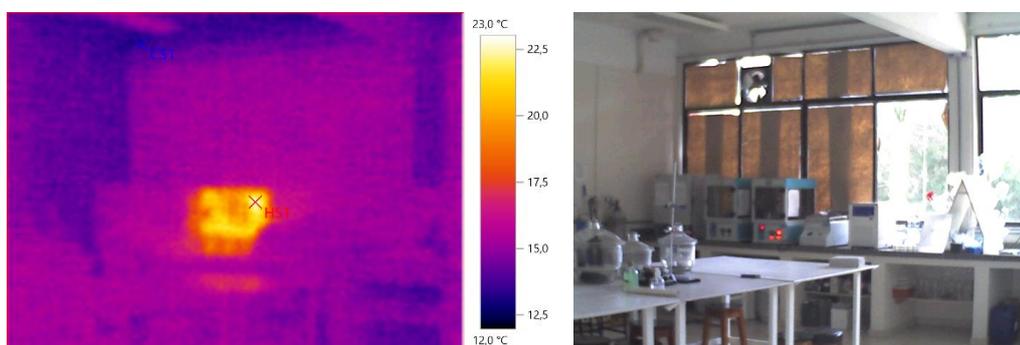


Vista inferior telhado

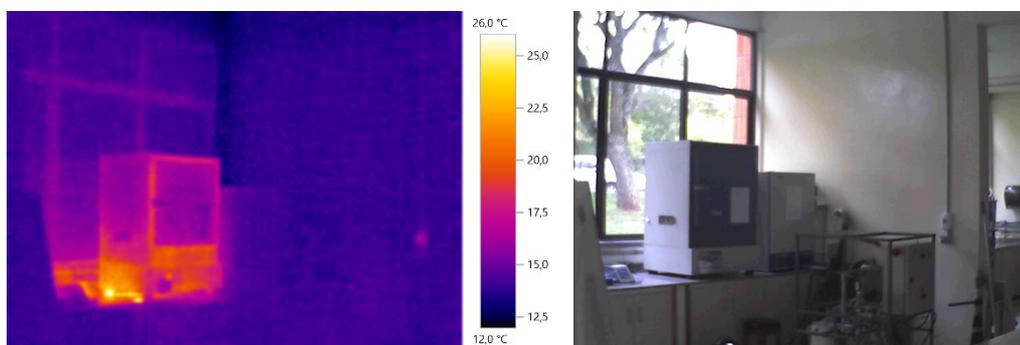
Medições de Inverno – às 15h do dia 23 de junho de 2021 (céu nublado)



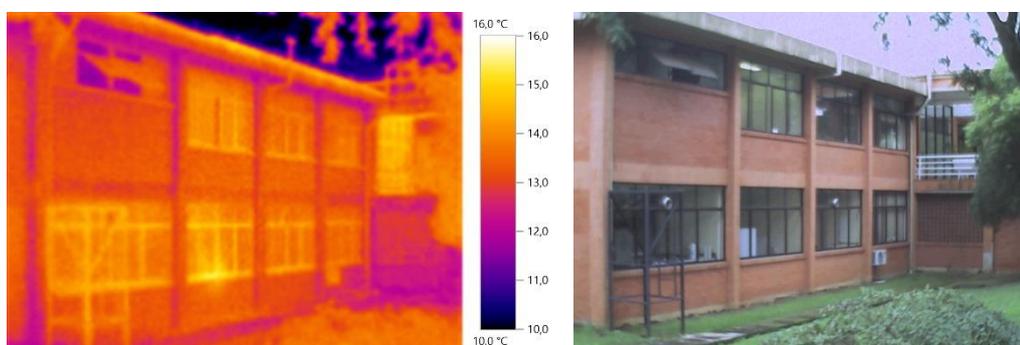
Sala de aula



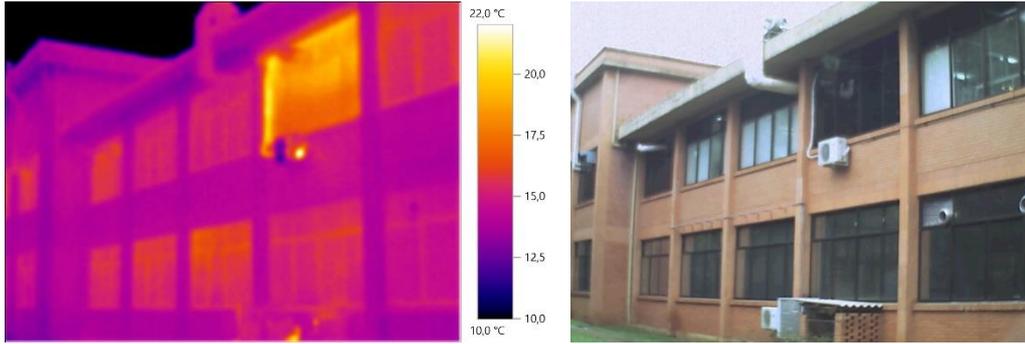
Laboratório de processos químicos



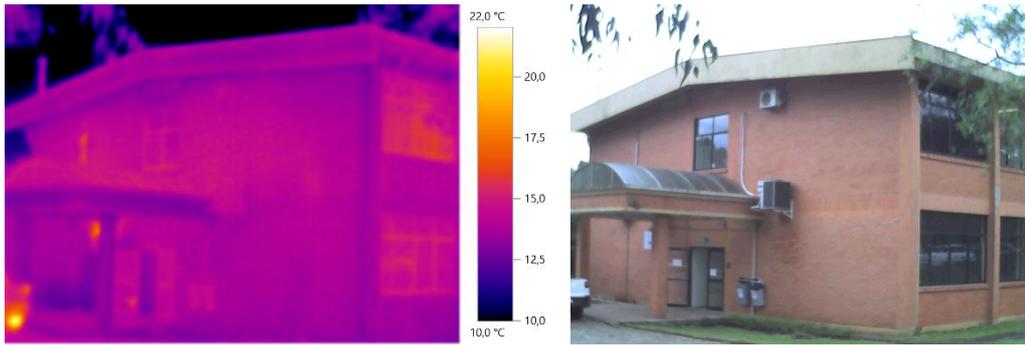
Laboratório de operações unitárias



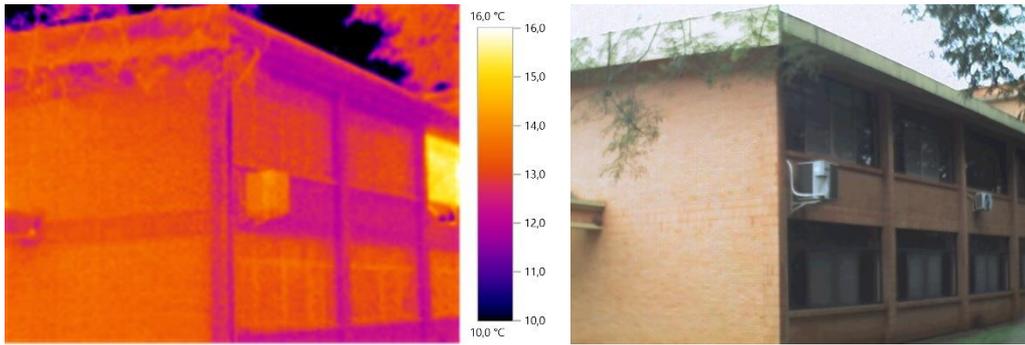
Fachada sul



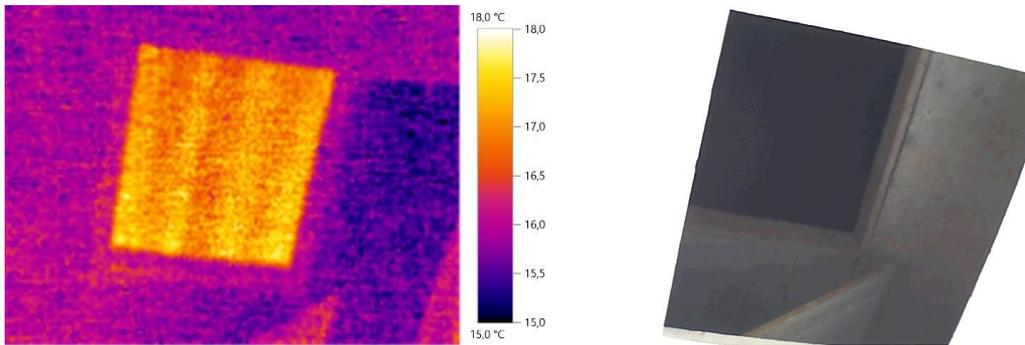
Fachada norte



Fachada oeste

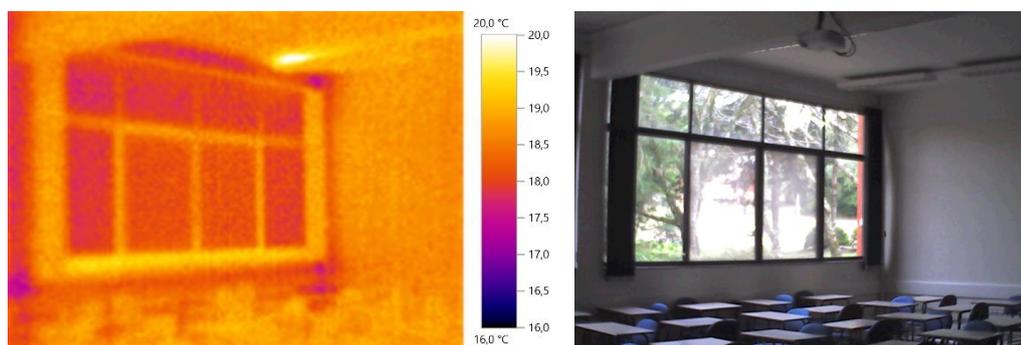


Fachada leste

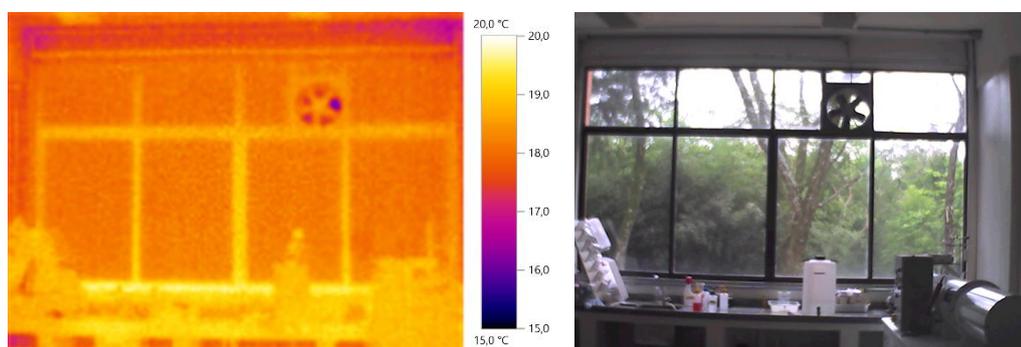


Vista inferior telhado

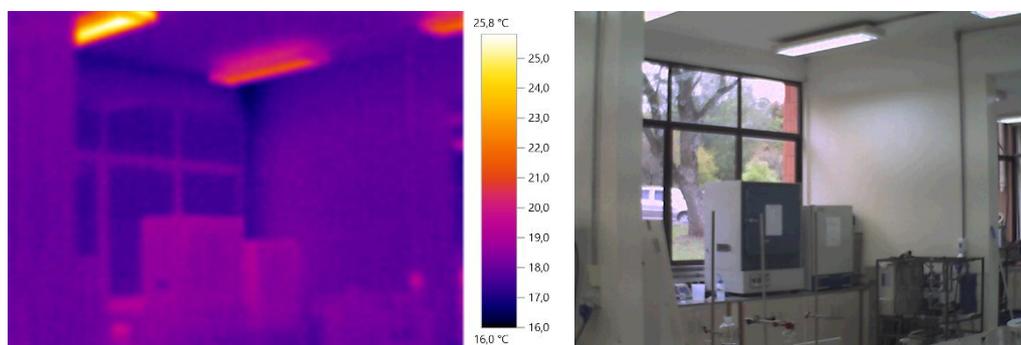
Medições de Primavera – às 15h do dia 16 de setembro de 2021 (céu nublado)



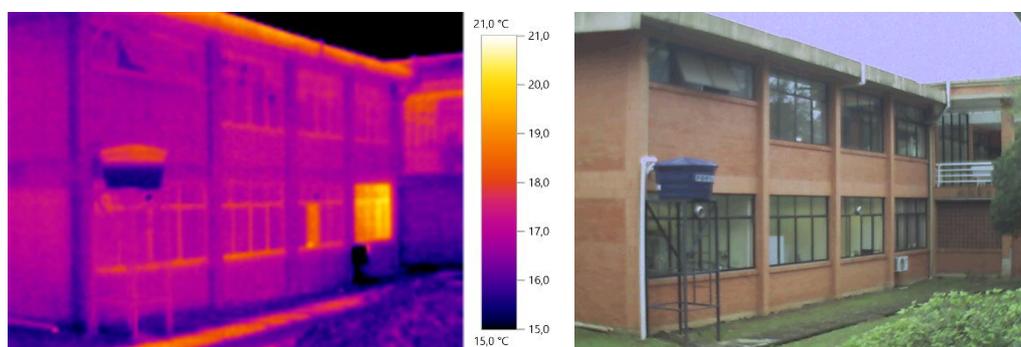
Sala de aula



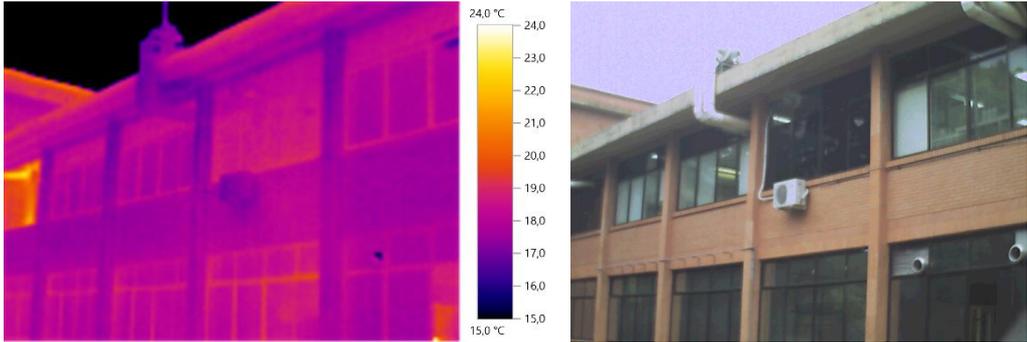
Laboratório de processos químicos



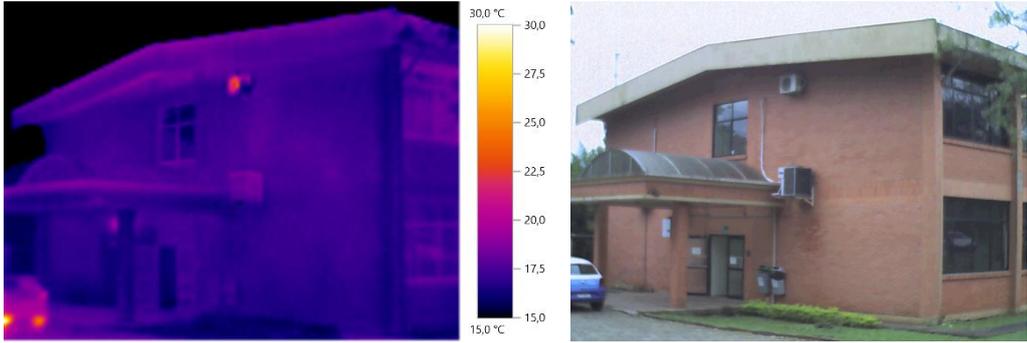
Laboratório de operações unitárias



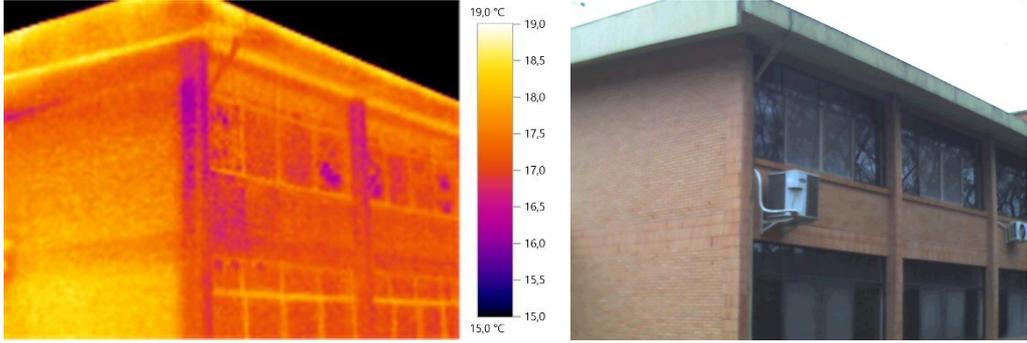
Fachada Sul



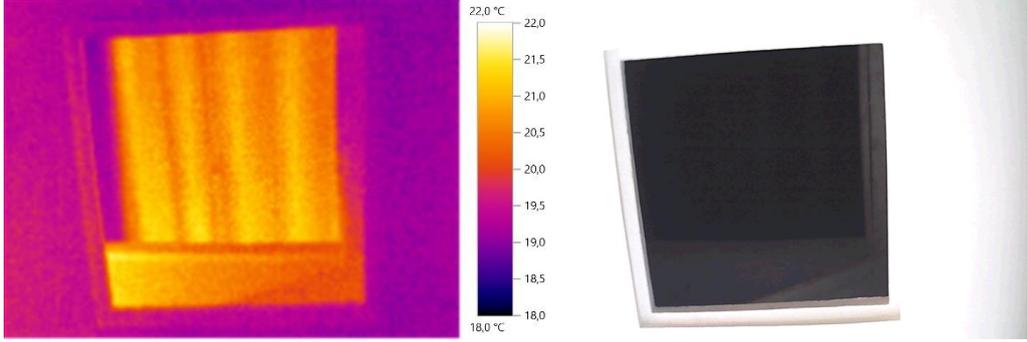
Fachada norte



Fachada oeste

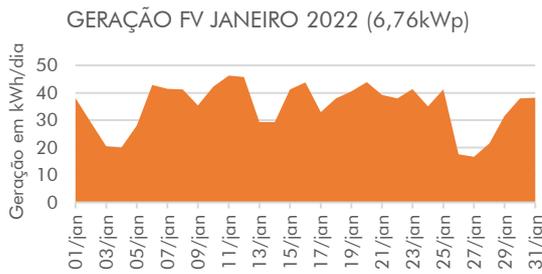
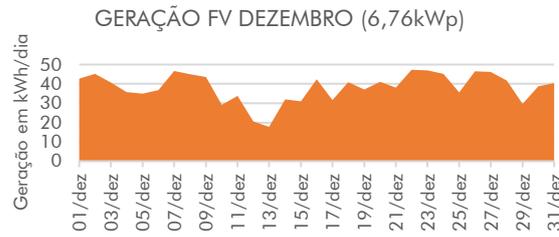
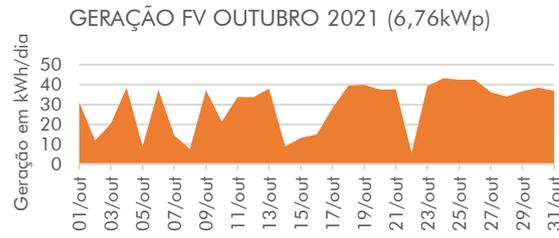
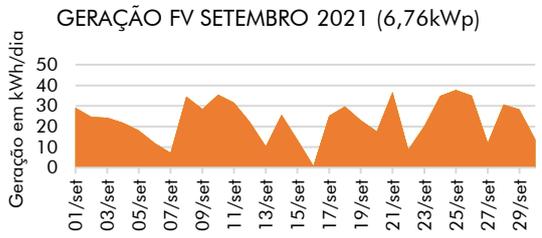
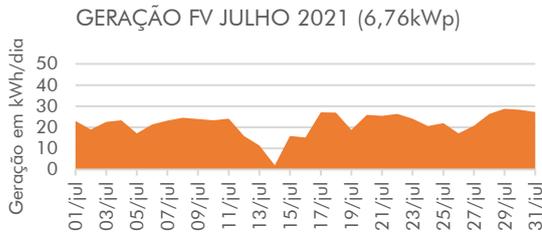
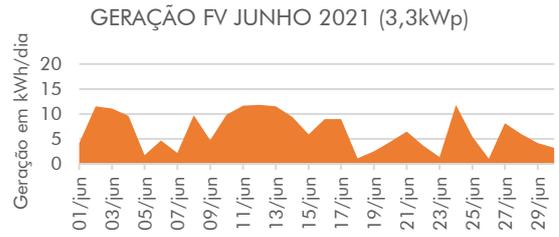
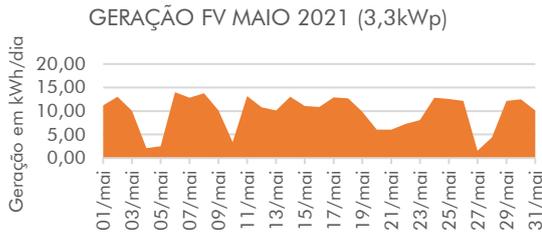
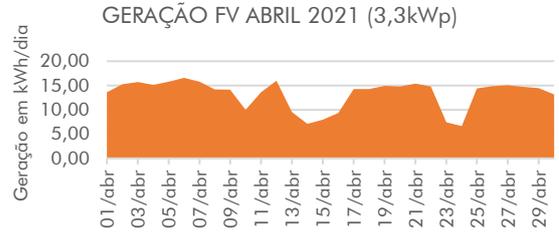
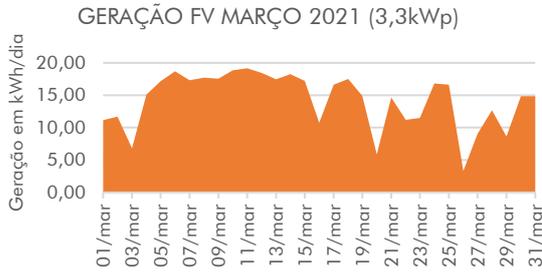


Fachada leste



Vista inferior telhado

APÊNDICE B – Geração Fotovoltaica *in loco*



APÊNDICE C – Fluxos de caixa dos cenários de autossuficiência

Payback simples cenário 1 sem subsídios (direita) e com subsídios (esquerda)*

CENÁRIO 1 - PAYBACK SIMPLES SEM CONSIDERAR PEE/RGE E FINANCIAMENTO			CENÁRIO 1 - PAYBACK SIMPLES CONSIDERANDO PEE/RGE E FINANCIAMENTO		
SISTEMA FV 15,76kWp / SEM MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA			SISTEMA FV 15,76kWp / SEM MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA		
CUSTO DA PROPOSTA			CUSTO DA PROPOSTA		
SISTEMA FV EXISTENTE	R\$	32.220,00	SISTEMA FV EXISTENTE	R\$	32.220,00
SISTEMA FV ADICIONAL	R\$	50.000,00	SISTEMA FV ADICIONAL	R\$	50.000,00
COMPRA RECS COMPENSAÇÃO GLP	R\$	400,00	COMPRA RECS COMPENSAÇÃO GLP	R\$	400,00
CERTIFICAÇÃO GBC ZERO ENERGY	R\$	9.500,00	CERTIFICAÇÃO GBC ZERO ENERGY	R\$	9.500,00
CUSTO TOTAL	R\$	92.120,00	CUSTO DA PROPOSTA	R\$	92.120,00
SUBSÍDIO ROYAL SOCIETY	R\$	32.220,00	SUBSÍDIO ROYAL SOCIETY	R\$	32.220,00
SUBSÍDIO CPFL	R\$	-	SUBSÍDIO CPFL	R\$	50.000,00
CUSTO LÍQUIDO (DESCONTA SUBSÍDIOS)	R\$	59.900,00	CUSTO LÍQUIDO (COM SUBSÍDIOS CPFL)	R\$	9.900,00
ECONOMIA ANUAL ENERGIA FV - 23.318,71 kWh/ano x R\$ 0,77 (Tarifa UPF)	R\$	17.955,41	ECONOMIA ANUAL ENERGIA FV - 23.318,71 kWh/ano x R\$ 0,77 (Tarifa UPF)	R\$	17.955,41
CUSTO DE MANUTENÇÃO ANUAL SISTEMA	R\$	3.000,00	CUSTO DE MANUTENÇÃO ANUAL SISTEMA FV	R\$	3.000,00
CUSTO TROCA DE LÂMPADAS (50unid/ano)	R\$	2.000,00	CUSTO TROCA DE LÂMPADAS (50unid/ano)	R\$	2.000,00
FLUXO DE CAIXA ANUAL	R\$	12.955,41	FLUXO DE CAIXA ANUAL	R\$	12.955,41
ANO	FLUXO DE CAIXA	Saldo	ANO	FLUXO DE CAIXA	Saldo
0		-R\$ 59.900,00	0		-R\$ 9.900,00
1	R\$ 12.955,41	-R\$ 46.944,59	1	R\$ 12.955,41	R\$ 3.055,41
2	R\$ 12.955,41	-R\$ 33.989,19	2	R\$ 12.955,41	R\$ 16.010,81
3	R\$ 12.955,41	-R\$ 21.033,78	3	R\$ 12.955,41	R\$ 28.966,22
4	R\$ 12.955,41	-R\$ 8.078,37	4	R\$ 12.955,41	R\$ 41.921,63
5	R\$ 12.955,41	R\$ 4.877,03	5	R\$ 12.955,41	R\$ 54.877,03
6	R\$ 12.955,41	R\$ 17.832,44	6	R\$ 12.955,41	R\$ 67.832,44
7	R\$ 12.955,41	R\$ 30.787,85	7	R\$ 12.955,41	R\$ 80.787,85
8	R\$ 12.955,41	R\$ 43.743,25	8	R\$ 12.955,41	R\$ 93.743,25
9	R\$ 12.955,41	R\$ 56.698,66	9	R\$ 12.955,41	R\$ 106.698,66
10	R\$ 12.955,41	R\$ 69.654,07	10	R\$ 12.955,41	R\$ 119.654,07
11	R\$ 12.955,41	R\$ 82.609,47	11	R\$ 12.955,41	R\$ 132.609,47
12	R\$ 12.955,41	R\$ 95.564,88	12	R\$ 12.955,41	R\$ 145.564,88
13	R\$ 12.955,41	R\$ 108.520,29	13	R\$ 12.955,41	R\$ 158.520,29
14	R\$ 12.955,41	R\$ 121.475,69	14	R\$ 12.955,41	R\$ 171.475,69
15	R\$ 12.955,41	R\$ 134.431,10	15	R\$ 12.955,41	R\$ 184.431,10
16	R\$ 12.955,41	R\$ 147.386,51	16	R\$ 12.955,41	R\$ 197.386,51
17	R\$ 12.955,41	R\$ 160.341,91	17	R\$ 12.955,41	R\$ 210.341,91
18	R\$ 12.955,41	R\$ 173.297,32	18	R\$ 12.955,41	R\$ 223.297,32
19	R\$ 12.955,41	R\$ 186.252,73	19	R\$ 12.955,41	R\$ 236.252,73
20	R\$ 12.955,41	R\$ 199.208,13	20	R\$ 12.955,41	R\$ 249.208,13
21	R\$ 12.955,41	R\$ 212.163,54	21	R\$ 12.955,41	R\$ 262.163,54
22	R\$ 12.955,41	R\$ 225.118,95	22	R\$ 12.955,41	R\$ 275.118,95
23	R\$ 12.955,41	R\$ 238.074,35	23	R\$ 12.955,41	R\$ 288.074,35
24	R\$ 12.955,41	R\$ 251.029,76	24	R\$ 12.955,41	R\$ 301.029,76
25	R\$ 12.955,41	R\$ 263.985,17	25	R\$ 12.955,41	R\$ 313.985,17

*Nesta proposta, o subsídio do PEE da RGE/CPFL incluiria este projeto e outras ações a serem implantadas na UPF para atingir o valor mínimo de R\$ 300.000,00

Payback descontado cenário 1 sem subsídios

CENÁRIO 1 - PAYBACK DESCONTADO SEM CONSIDERAR PEE/RGE						
SISTEMA FV 15,76kW _p / SEM MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA						
CUSTO DA PROPOSTA						
SISTEMA FV EXISTENTE						R\$ 32.220,00
SISTEMA FV ADICIONAL						R\$ 50.000,00
COMPRA RECS COMPENSAÇÃO GLP						R\$ 400,00
CERTIFICAÇÃO GBC ZERO ENERGY						R\$ 9.500,00
CUSTO DA PROPOSTA						R\$ 92.120,00
SUBSÍDIO ROYAL SOCIETY						R\$ 32.220,00
CUSTO LÍQUIDO (SEM SUBÍDIOS)						R\$ 59.900,00
CUSTO FINANCIAMENTO SISTEMA FV						R\$ 76.494,41
CUSTO ANUAL FINANCIAMENTO (12 parc.)						R\$ 9.561,80
ECONOMIA ANUAL ENERGIA FV - 23.318,71 kWh/ano x R\$ 0,77 (Tarifa UPF)						R\$ 17.955,41
CUSTO DE MANUTENÇÃO ANUAL SISTEMA FV						R\$ 3.000,00
CUSTO TROCA DE LÂMPADAS (50unid/ano)						R\$ 2.000,00
FLUXO DE CAIXA ANUAL (17 anos sem financiamento)						R\$ 12.955,41
ANO	VALOR ECONOMIZADO O GERAÇÃO FV	Eficiência do painel	VALOR ECONOMIZADO GERAÇÃO FV c/ perdas	DESPESAS ANUAIS	SALDO ANUAL	Saldo
0						-R\$ 9.900,00
1	R\$ 17.955,41	100%	R\$ 17.955,41	R\$ 17.429,75	R\$ 525,65	-R\$ 9.374,35
2	R\$ 17.955,41	98,0%	R\$ 17.596,30	R\$ 16.610,34	R\$ 985,96	-R\$ 8.388,38
3	R\$ 17.955,41	97,5%	R\$ 17.506,52	R\$ 15.790,92	R\$ 1.715,60	-R\$ 6.672,79
4	R\$ 17.955,41	97,0%	R\$ 17.416,74	R\$ 14.971,51	R\$ 2.445,24	-R\$ 4.227,55
5	R\$ 17.955,41	96,5%	R\$ 17.326,97	R\$ 14.152,09	R\$ 3.174,87	-R\$ 1.052,68
6	R\$ 17.955,41	96,0%	R\$ 17.237,19	R\$ 11.332,68	R\$ 5.904,51	R\$ 4.851,84
7	R\$ 17.955,41	95,5%	R\$ 17.147,41	R\$ 12.513,26	R\$ 4.634,15	R\$ 9.485,98
8	R\$ 17.955,41	95,0%	R\$ 17.057,64	R\$ 11.693,85	R\$ 5.363,79	R\$ 14.849,77
9	R\$ 17.955,41	94,5%	R\$ 16.967,86	R\$ 5.000,00	R\$ 11.967,86	R\$ 26.817,63
10	R\$ 17.955,41	94,0%	R\$ 16.878,08	R\$ 5.000,00	R\$ 11.878,08	R\$ 38.695,71
11	R\$ 17.955,41	93,5%	R\$ 16.788,31	R\$ 5.000,00	R\$ 11.788,31	R\$ 50.484,02
12	R\$ 17.955,41	93,0%	R\$ 16.698,53	R\$ 5.000,00	R\$ 11.698,53	R\$ 62.182,55
13	R\$ 17.955,41	92,5%	R\$ 16.608,75	R\$ 5.000,00	R\$ 11.608,75	R\$ 73.791,30
14	R\$ 17.955,41	92,0%	R\$ 16.518,97	R\$ 5.000,00	R\$ 11.518,97	R\$ 85.310,27
15	R\$ 17.955,41	91,5%	R\$ 16.429,20	R\$ 5.000,00	R\$ 11.429,20	R\$ 96.739,47
16	R\$ 17.955,41	91,0%	R\$ 16.339,42	R\$ 5.000,00	R\$ 11.339,42	R\$ 108.078,89
17	R\$ 17.955,41	90,5%	R\$ 16.249,64	R\$ 5.000,00	R\$ 11.249,64	R\$ 119.328,53
18	R\$ 17.955,41	90,0%	R\$ 16.159,87	R\$ 5.000,00	R\$ 11.159,87	R\$ 130.488,40
19	R\$ 17.955,41	89,5%	R\$ 16.070,09	R\$ 5.000,00	R\$ 11.070,09	R\$ 141.558,49
20	R\$ 17.955,41	89,0%	R\$ 15.980,31	R\$ 5.000,00	R\$ 10.980,31	R\$ 152.538,80
21	R\$ 17.955,41	88,5%	R\$ 15.890,53	R\$ 5.000,00	R\$ 10.890,53	R\$ 163.429,33
22	R\$ 17.955,41	88,0%	R\$ 15.800,76	R\$ 5.000,00	R\$ 10.800,76	R\$ 174.230,09
23	R\$ 17.955,41	87,5%	R\$ 15.710,98	R\$ 5.000,00	R\$ 10.710,98	R\$ 184.941,07
24	R\$ 17.955,41	87,0%	R\$ 15.621,20	R\$ 5.000,00	R\$ 10.621,20	R\$ 195.562,28
25	R\$ 17.955,41	86,5%	R\$ 15.531,43	R\$ 5.000,00	R\$ 10.531,43	R\$ 206.093,70
					TIR	31,18%

Payback descontado cenário 1 com subsídios

CENÁRIO 1 - PAYBACK DESCONTADO CONSIDERANDO PEE/RGE						
SISTEMA FV 15,76kWp / SEM MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA						
CUSTO DA PROPOSTA						
SISTEMA FV EXISTENTE						R\$ 32.220,00
SISTEMA FV ADICIONAL						R\$ 50.000,00
COMPRA RECS COMPENSAÇÃO GLP						R\$ 400,00
CERTIFICAÇÃO GBC ZERO ENERGY						R\$ 9.500,00
CUSTO DA PROPOSTA						R\$ 92.120,00
SUBSÍDIO ROYAL SOCIETY						R\$ 32.220,00
SUBSÍDIO CPFL NÃO PASSA MÍNIMO 300.000, teria que incluir em outras ações						R\$ 50.000,00
CUSTO LÍQUIDO (SEM SUBSÍDIOS)						R\$ 9.900,00
CUSTO COM FINANCIAMENTO 8 ANOS						R\$ -
CUSTO ANUAL FINANCIAMENTO (12 parc.)						R\$ -
ECONOMIA ANUAL ENERGIA FV - 23.318,71 kWh/ano x R\$ 0,77 (Tarifa UPF)						R\$ 17.955,41
CUSTO DE MANUTENÇÃO ANUAL SISTEMA FV						R\$ 3.000,00
CUSTO TROCA DE LÂMPADAS (50unid/ano)						R\$ 2.000,00
FLUXO DE CAIXA ANUAL						R\$ 12.955,41
ANO	VALOR ECONOMIZADO GERAÇÃO FV	Eficiência do painel	VALOR ECONOMIZADO GERAÇÃO FV c/ perdas	DESPESAS ANUAIS	SALDO ANUAL	Fluxo de caixa
0						-R\$ 9.900,00
1	R\$ 17.955,41	100%	R\$ 17.955,41	R\$ 5.000,00	R\$ 12.955,41	R\$ 3.055,41
2	R\$ 17.955,41	98,0%	R\$ 17.596,30	R\$ 5.000,00	R\$ 12.596,30	R\$ 15.651,71
3	R\$ 17.955,41	97,5%	R\$ 17.506,52	R\$ 5.000,00	R\$ 12.506,52	R\$ 28.158,23
4	R\$ 17.955,41	97,0%	R\$ 17.416,74	R\$ 5.000,00	R\$ 12.416,74	R\$ 40.574,97
5	R\$ 17.955,41	96,5%	R\$ 17.326,97	R\$ 5.000,00	R\$ 12.326,97	R\$ 52.901,94
6	R\$ 17.955,41	96,0%	R\$ 17.237,19	R\$ 5.000,00	R\$ 12.237,19	R\$ 65.139,13
7	R\$ 17.955,41	95,5%	R\$ 17.147,41	R\$ 5.000,00	R\$ 12.147,41	R\$ 77.286,54
8	R\$ 17.955,41	95,0%	R\$ 17.057,64	R\$ 5.000,00	R\$ 12.057,64	R\$ 89.344,18
9	R\$ 17.955,41	94,5%	R\$ 16.967,86	R\$ 5.000,00	R\$ 11.967,86	R\$ 101.312,04
10	R\$ 17.955,41	94,0%	R\$ 16.878,08	R\$ 5.000,00	R\$ 11.878,08	R\$ 113.190,12
11	R\$ 17.955,41	93,5%	R\$ 16.788,31	R\$ 5.000,00	R\$ 11.788,31	R\$ 124.978,43
12	R\$ 17.955,41	93,0%	R\$ 16.698,53	R\$ 5.000,00	R\$ 11.698,53	R\$ 136.676,95
13	R\$ 17.955,41	92,5%	R\$ 16.608,75	R\$ 5.000,00	R\$ 11.608,75	R\$ 148.285,71
14	R\$ 17.955,41	92,0%	R\$ 16.518,97	R\$ 5.000,00	R\$ 11.518,97	R\$ 159.804,68
15	R\$ 17.955,41	91,5%	R\$ 16.429,20	R\$ 5.000,00	R\$ 11.429,20	R\$ 171.233,88
16	R\$ 17.955,41	91,0%	R\$ 16.339,42	R\$ 5.000,00	R\$ 11.339,42	R\$ 182.573,30
17	R\$ 17.955,41	90,5%	R\$ 16.249,64	R\$ 5.000,00	R\$ 11.249,64	R\$ 193.822,94
18	R\$ 17.955,41	90,0%	R\$ 16.159,87	R\$ 5.000,00	R\$ 11.159,87	R\$ 204.982,81
19	R\$ 17.955,41	89,5%	R\$ 16.070,09	R\$ 5.000,00	R\$ 11.070,09	R\$ 216.052,89
20	R\$ 17.955,41	89,0%	R\$ 15.980,31	R\$ 5.000,00	R\$ 10.980,31	R\$ 227.033,21
21	R\$ 17.955,41	88,5%	R\$ 15.890,53	R\$ 5.000,00	R\$ 10.890,53	R\$ 237.923,74
22	R\$ 17.955,41	88,0%	R\$ 15.800,76	R\$ 5.000,00	R\$ 10.800,76	R\$ 248.724,50
23	R\$ 17.955,41	87,5%	R\$ 15.710,98	R\$ 5.000,00	R\$ 10.710,98	R\$ 259.435,48
24	R\$ 17.955,41	87,0%	R\$ 15.621,20	R\$ 5.000,00	R\$ 10.621,20	R\$ 270.056,68
25	R\$ 17.955,41	86,5%	R\$ 15.531,43	R\$ 5.000,00	R\$ 10.531,43	R\$ 280.588,11
					TIR	128,97%

Payback simples cenário 2 sem subsídios (direita) e com subsídios (esquerda)

CENÁRIO 2 - PAYBACK SIMPLES SEM CONSIDERAR PEE/RGE				CENÁRIO 2 - PAYBACK SIMPLES CONSIDERANDO PEE/RGE			
SISTEMA FV 15,76kWp / C/ MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				SISTEMA FV 15,76kWp / C/ MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA			
CUSTO DA PROPOSTA				CUSTO DA PROPOSTA			
SISTEMA FV EXISTENTE	R\$	32.220,00		SISTEMA FV EXISTENTE	R\$	32.220,00	
SISTEMA FV ADICIONAL	R\$	50.000,00		SISTEMA FV ADICIONAL	R\$	50.000,00	
COMPRA RECS COMPENSAÇÃO GLP	R\$	400,00		COMPRA RECS COMPENSAÇÃO GLP	R\$	400,00	
CERTIFICAÇÃO GBC ZERO ENERGY	R\$	9.500,00		CERTIFICAÇÃO GBC ZERO ENERGY	R\$	9.500,00	
RETROFIT LUMINOTÉCNICO	R\$	98.664,57		RETROFIT LUMINOTÉCNICO	R\$	98.664,57	
RETROFIT CLIMATIZAÇÃO	R\$	303.252,25		RETROFIT CLIMATIZAÇÃO	R\$	303.252,25	
CUSTO DA PROPOSTA	R\$	494.036,82		CUSTO DA PROPOSTA	R\$	494.036,82	
SUBSÍDIO ROYAL SOCIETY	R\$	32.220,00		SUBSÍDIO ROYAL SOCIETY	R\$	32.220,00	
SUBSÍDIO CPFL				SUBSÍDIO CPFL	R\$	451.916,82	
CUSTO LÍQUIDO (SEM SUBÍDIOS CPFL)	R\$	461.816,82		CUSTO LÍQUIDO (COM SUBÍDIOS CPFL)	R\$	9.900,00	
ECONOMIA ANUAL ENERGIA FV - 13.316,52 kWh/ano x R\$ 0,77 (Tarifa UPF)				ECONOMIA ANUAL ENERGIA FV - 13.316,52 kWh/ano x R\$ 0,77 (Tarifa UPF)			
REDUÇÃO DE CONSUMO RETROFIT - 2.857,91 kWh/ano x R\$ 0,77 (Tarifa UPF)				REDUÇÃO DE CONSUMO RETROFIT - 2.857,91 kWh/ano x R\$ 0,77 (Tarifa UPF)			
CUSTO DE MANUTENÇÃO ANUAL SISTEMA FV				CUSTO DE MANUTENÇÃO ANUAL SISTEMA FV			
CUSTO TROCA DE LÂMPADAS ANO 12				CUSTO TROCA DE LÂMPADAS ANO 12			
FLUXO DE CAIXA ANUAL (sem financiamento)				FLUXO DE CAIXA ANUAL (sem financiamento)			
ANO	FLUXO DE CAIXA	Saldo		ANO	FLUXO DE CAIXA	Saldo	
0		-R\$	461.816,82	0		-R\$	9.900,00
1	R\$ 17.156,00	-R\$	444.660,82	1	R\$ 17.156,00	R\$	7.256,00
2	R\$ 17.156,00	-R\$	427.504,83	2	R\$ 17.156,00	R\$	24.411,99
3	R\$ 17.156,00	-R\$	410.348,83	3	R\$ 17.156,00	R\$	41.567,99
4	R\$ 17.156,00	-R\$	393.192,83	4	R\$ 17.156,00	R\$	58.723,99
5	R\$ 17.156,00	-R\$	376.036,83	5	R\$ 17.156,00	R\$	75.879,99
6	R\$ 17.156,00	-R\$	358.880,84	6	R\$ 17.156,00	R\$	93.035,98
7	R\$ 17.156,00	-R\$	341.724,84	7	R\$ 17.156,00	R\$	110.191,98
8	R\$ 17.156,00	-R\$	324.568,84	8	R\$ 17.156,00	R\$	127.347,98
9	R\$ 17.156,00	-R\$	307.412,84	9	R\$ 17.156,00	R\$	144.503,98
10	R\$ 17.156,00	-R\$	290.256,85	10	R\$ 17.156,00	R\$	161.659,97
11	R\$ 17.156,00	-R\$	273.100,85	11	R\$ 17.156,00	R\$	178.815,97
12	-R\$ 34.196,00	-R\$	307.296,85	12	-R\$ 34.196,00	R\$	144.619,97
13	R\$ 17.156,00	-R\$	290.140,85	13	R\$ 17.156,00	R\$	161.775,97
14	R\$ 17.156,00	-R\$	272.984,86	14	R\$ 17.156,00	R\$	178.931,96
15	R\$ 17.156,00	-R\$	255.828,86	15	R\$ 17.156,00	R\$	196.087,96
16	R\$ 17.156,00	-R\$	238.672,86	16	R\$ 17.156,00	R\$	213.243,96
17	R\$ 17.156,00	-R\$	221.516,86	17	R\$ 17.156,00	R\$	230.399,96
18	R\$ 17.156,00	-R\$	204.360,87	18	R\$ 17.156,00	R\$	247.555,95
19	R\$ 17.156,00	-R\$	187.204,87	19	R\$ 17.156,00	R\$	264.711,95
20	R\$ 17.156,00	-R\$	170.048,87	20	R\$ 17.156,00	R\$	281.867,95
21	R\$ 17.156,00	-R\$	152.892,87	21	R\$ 17.156,00	R\$	299.023,95
22	R\$ 17.156,00	-R\$	135.736,88	22	R\$ 17.156,00	R\$	316.179,94
23	R\$ 17.156,00	-R\$	118.580,88	23	R\$ 17.156,00	R\$	333.335,94
24	-R\$ 34.196,00	-R\$	152.776,88	24	-R\$ 34.196,00	R\$	299.139,94
25	R\$ 17.156,00	-R\$	135.620,89	25	R\$ 17.156,00	R\$	316.295,94

Payback descontado cenário 2 com subsídios

CENÁRIO 2 - PAYBACK DESCONTADO (QUEDA DE PRODUTIVIDADE FV)							
SISTEMA FV 15,76kWp / C/ MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA							
CUSTO DA PROPOSTA							
SISTEMA FV EXISTENTE							R\$ 32.220,00
SISTEMA FV ADICIONAL							R\$ 50.000,00
COMPRA RECS COMPENSAÇÃO GLP							R\$ 400,00
CERTIFICAÇÃO GBC ZERO ENERGY							R\$ 9.500,00
RETROFIT LUMINOTÉCNICO							R\$ 98.664,57
RETROFIT CLIMATIZAÇÃO							R\$ 303.252,25
CUSTO DA PROPOSTA							R\$ 494.036,82
SUBSÍDIO ROYAL SOCIETY							R\$ 32.220,00
SUBSÍDIO CPFL							R\$ 451.916,82
CUSTO LÍQUIDO (SEM SUBSÍDIOS)							R\$ 9.900,00
CUSTO COM FINANCIAMENTO 8 ANOS							
CUSTO ANUAL FINANCIAMENTO (12 parc.)							
ECONOMIA ANUAL ENERGIA FV - 13.316,52 kWh/ano x R\$ 0,77 (Tarifa UPF)							R\$ 17.955,41
REDUÇÃO DE CONSUMO RETROFIT - 2.857,91 kWh/ano x R\$ 0,77 (Tarifa UPF)							R\$ 2.200,59
CUSTO DE MANUTENÇÃO ANUAL SISTEMA FV							R\$ 3.000,00
CUSTO TROCA DE LÂMPADAS ANO 12							R\$ 51.352,00
FLUXO DE CAIXA ANUAL (sem financiamento)							R\$ 17.156,00
ANO	VALOR ECONOMIZADO GERAÇÃO FV	Eficiência do painel	VALOR ECONOMIZADO GERAÇÃO FV c/ perdas	CUSTO ENERGÉTICO EVITADO RETROFIT reajuste 9.33% a.a	DESPESAS ANUAIS	FLUXO DE CAIXA	Saldo
0							-R\$ 9.900,00
1	R\$ 17.955,41	100%	R\$ 17.955,41	R\$ 2.200,59	-R\$ 3.000,00	R\$ 17.156,00	R\$ 7.256,00
2	R\$ 17.955,41	98,0%	R\$ 17.596,30	R\$ 2.405,91	-R\$ 3.000,00	R\$ 17.002,20	R\$ 24.258,20
3	R\$ 17.955,41	97,5%	R\$ 17.506,52	R\$ 2.630,38	-R\$ 3.000,00	R\$ 17.136,90	R\$ 41.395,10
4	R\$ 17.955,41	97,0%	R\$ 17.416,74	R\$ 2.875,79	-R\$ 3.000,00	R\$ 17.292,54	R\$ 58.687,64
5	R\$ 17.955,41	96,5%	R\$ 17.326,97	R\$ 3.144,10	-R\$ 3.000,00	R\$ 17.471,07	R\$ 76.158,71
6	R\$ 17.955,41	96,0%	R\$ 17.237,19	R\$ 3.437,45	-R\$ 3.000,00	R\$ 17.674,64	R\$ 93.833,34
7	R\$ 17.955,41	95,5%	R\$ 17.147,41	R\$ 3.758,16	-R\$ 3.000,00	R\$ 17.905,57	R\$ 111.738,92
8	R\$ 17.955,41	95,0%	R\$ 17.057,64	R\$ 4.108,80	-R\$ 3.000,00	R\$ 18.166,43	R\$ 129.905,35
9	R\$ 17.955,41	94,5%	R\$ 16.967,86	R\$ 4.492,15	-R\$ 3.000,00	R\$ 18.460,01	R\$ 148.365,36
10	R\$ 17.955,41	94,0%	R\$ 16.878,08	R\$ 4.911,27	-R\$ 3.000,00	R\$ 18.789,35	R\$ 167.154,71
11	R\$ 17.955,41	93,5%	R\$ 16.788,31	R\$ 5.369,49	-R\$ 3.000,00	R\$ 19.157,79	R\$ 186.312,50
12	R\$ 17.955,41	93,0%	R\$ 16.698,53	R\$ 5.870,46	-R\$ 54.352,00	-R\$ 31.783,01	R\$ 154.529,49
13	R\$ 17.955,41	92,5%	R\$ 16.608,75	R\$ 6.418,17	-R\$ 3.000,00	R\$ 20.026,92	R\$ 174.556,41
14	R\$ 17.955,41	92,0%	R\$ 16.518,97	R\$ 7.016,99	-R\$ 3.000,00	R\$ 20.535,96	R\$ 195.092,37
15	R\$ 17.955,41	91,5%	R\$ 16.429,20	R\$ 7.671,67	-R\$ 3.000,00	R\$ 21.100,87	R\$ 216.193,24
16	R\$ 17.955,41	91,0%	R\$ 16.339,42	R\$ 8.387,44	-R\$ 3.000,00	R\$ 21.726,86	R\$ 237.920,11
17	R\$ 17.955,41	90,5%	R\$ 16.249,64	R\$ 9.169,99	-R\$ 3.000,00	R\$ 22.419,63	R\$ 260.339,74
18	R\$ 17.955,41	90,0%	R\$ 16.159,87	R\$ 10.025,55	-R\$ 3.000,00	R\$ 23.185,42	R\$ 283.525,15
19	R\$ 17.955,41	89,5%	R\$ 16.070,09	R\$ 10.960,93	-R\$ 3.000,00	R\$ 24.031,02	R\$ 307.556,18
20	R\$ 17.955,41	89,0%	R\$ 15.980,31	R\$ 11.983,59	-R\$ 3.000,00	R\$ 24.963,90	R\$ 332.520,08
21	R\$ 17.955,41	88,5%	R\$ 15.890,53	R\$ 13.101,66	-R\$ 3.000,00	R\$ 25.992,19	R\$ 358.512,27
22	R\$ 17.955,41	88,0%	R\$ 15.800,76	R\$ 14.324,04	-R\$ 3.000,00	R\$ 27.124,80	R\$ 385.637,07
23	R\$ 17.955,41	87,5%	R\$ 15.710,98	R\$ 15.660,48	-R\$ 3.000,00	R\$ 28.371,46	R\$ 414.008,52
24	R\$ 17.955,41	87,0%	R\$ 15.621,20	R\$ 17.121,60	-R\$ 54.352,00	-R\$ 21.609,20	R\$ 392.399,33
25	R\$ 17.955,41	86,5%	R\$ 15.531,43	R\$ 18.719,04	-R\$ 3.000,00	R\$ 31.250,47	R\$ 423.649,80
TIR							173,03%

Payback simples cenário 3 sem subsídios (direita) e com subsídios (esquerda)

CENÁRIO 3 - PAYBACK SIMPLES SEM CONSIDERAR PEE/RGE			CENÁRIO 3 - PAYBACK SIMPLES CONSIDERANDO PEE/RGE		
SISTEMA FV 74,7kWp / C/ MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA			SISTEMA FV 74,7kWp / C/ MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA		
CUSTO DA PROPOSTA			CUSTO DA PROPOSTA		
SISTEMA FV EXISTENTE	R\$	32.220,00	SISTEMA FV EXISTENTE	R\$	32.220,00
SISTEMA FV ADICIONAL	R\$	550.000,00	SISTEMA FV ADICIONAL	R\$	550.000,00
COMPRA RECS COMPENSAÇÃO GLP	R\$	400,00	COMPRA RECS COMPENSAÇÃO GLP	R\$	400,00
CERTIFICAÇÃO GBC ZERO ENERGY	R\$	9.500,00	CERTIFICAÇÃO GBC ZERO ENERGY	R\$	9.500,00
RETROFIT LUMINOTÉCNICO	R\$	98.664,57	RETROFIT LUMINOTÉCNICO	R\$	98.664,57
RETROFIT CLIMATIZAÇÃO	R\$	303.252,25	RETROFIT CLIMATIZAÇÃO	R\$	303.252,25
CUSTO DA PROPOSTA	R\$	994.036,82	CUSTO DA PROPOSTA	R\$	994.036,82
SUBSÍDIO ROYAL SOCIETY	R\$	32.220,00	SUBSÍDIO ROYAL SOCIETY	R\$	32.220,00
SUBSÍDIO CPFL			SUBSÍDIO CPFL	R\$	500.000,00
CUSTO LÍQUIDO (SEM SUBÍDIOS CPFL)	R\$	961.816,82	CUSTO LÍQUIDO (COM SUBÍDIOS CPFL)	R\$	461.816,82
ECONOMIA ANUAL ENERGIA FV - 23.464,26kWh/ano x R\$ 0,77 (Tarifa UPF)	R\$	85.637,11	ECONOMIA ANUAL ENERGIA FV - 23.464,26kWh/ano x R\$ 0,77 (Tarifa UPF)	R\$	85.637,11
REDUÇÃO DE CONSUMO RETROFIT - 2.857,91 kWh/ano x R\$ 0,77 (Tarifa UPF)	R\$	2.200,59	REDUÇÃO DE CONSUMO RETROFIT - 2.857,91 kWh/ano x R\$ 0,77 (Tarifa UPF)	R\$	2.200,59
CUSTO DE MANUTENÇÃO ANUAL SISTEMA FV	R\$	30.000,00	CUSTO DE MANUTENÇÃO ANUAL SISTEMA FV	R\$	30.000,00
CUSTO TROCA DE LÂMPADAS ANO 12	R\$	51.352,00	CUSTO TROCA DE LÂMPADAS ANO 12	R\$	51.352,00
FLUXO DE CAIXA ANUAL (sem financiamento)	R\$	57.837,70	FLUXO DE CAIXA ANUAL (sem financiamento)	R\$	57.837,70
ANO	FLUXO DE CAIXA	Saldo	ANO	FLUXO DE CAIXA	Saldo
0		-R\$ 961.816,82	0		-R\$ 461.816,82
1	R\$ 57.837,70	-R\$ 903.979,12	1	R\$ 57.837,70	-R\$ 403.979,12
2	R\$ 57.837,70	-R\$ 846.141,42	2	R\$ 57.837,70	-R\$ 346.141,42
3	R\$ 57.837,70	-R\$ 788.303,72	3	R\$ 57.837,70	-R\$ 288.303,72
4	R\$ 57.837,70	-R\$ 730.466,02	4	R\$ 57.837,70	-R\$ 230.466,02
5	R\$ 57.837,70	-R\$ 672.628,32	5	R\$ 57.837,70	-R\$ 172.628,32
6	R\$ 57.837,70	-R\$ 614.790,62	6	R\$ 57.837,70	-R\$ 114.790,62
7	R\$ 57.837,70	-R\$ 556.952,92	7	R\$ 57.837,70	-R\$ 56.952,92
8	R\$ 57.837,70	-R\$ 499.115,21	8	R\$ 57.837,70	R\$ 884,79
9	R\$ 57.837,70	-R\$ 441.277,51	9	R\$ 57.837,70	R\$ 58.722,49
10	R\$ 57.837,70	-R\$ 383.439,81	10	R\$ 57.837,70	R\$ 116.560,19
11	R\$ 57.837,70	-R\$ 325.602,11	11	R\$ 57.837,70	R\$ 174.397,89
12	R\$ 6.485,70	-R\$ 319.116,41	12	R\$ 6.485,70	R\$ 180.883,59
13	R\$ 57.837,70	-R\$ 261.278,71	13	R\$ 57.837,70	R\$ 238.721,29
14	R\$ 57.837,70	-R\$ 203.441,01	14	R\$ 57.837,70	R\$ 296.558,99
15	R\$ 57.837,70	-R\$ 145.603,31	15	R\$ 57.837,70	R\$ 354.396,69
16	R\$ 57.837,70	-R\$ 87.765,61	16	R\$ 57.837,70	R\$ 412.234,39
17	R\$ 57.837,70	-R\$ 29.927,91	17	R\$ 57.837,70	R\$ 470.072,09
18	R\$ 57.837,70	R\$ 27.909,79	18	R\$ 57.837,70	R\$ 527.909,79
19	R\$ 57.837,70	R\$ 85.747,49	19	R\$ 57.837,70	R\$ 585.747,49
20	R\$ 57.837,70	R\$ 143.585,19	20	R\$ 57.837,70	R\$ 643.585,19
21	R\$ 57.837,70	R\$ 201.422,89	21	R\$ 57.837,70	R\$ 701.422,89
22	R\$ 57.837,70	R\$ 259.260,60	22	R\$ 57.837,70	R\$ 759.260,60
23	R\$ 57.837,70	R\$ 317.098,30	23	R\$ 57.837,70	R\$ 817.098,30
24	R\$ 6.485,70	R\$ 323.584,00	24	R\$ 6.485,70	R\$ 823.584,00
25	R\$ 57.837,70	R\$ 381.421,70	25	R\$ 57.837,70	R\$ 881.421,70

Payback descontado cenário 3 sem subsídios

CENÁRIO 3 - PAYBACK DESCONTADO SEM CONSIDERAR PEE/RGE							
SISTEMA FV 74,7kW _p / C/ MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA							
CUSTO DA PROPOSTA							
SISTEMA FV EXISTENTE							R\$ 32.220,00
SISTEMA FV ADICIONAL							R\$ 550.000,00
COMPRA RECS COMPENSAÇÃO GLP							R\$ 400,00
CERTIFICAÇÃO GBC ZERO ENERGY							R\$ 9.500,00
RETROFIT LUMINOTÉCNICO							R\$ 98.664,57
RETROFIT CLIMATIZAÇÃO							R\$ 303.252,25
CUSTO DA PROPOSTA							R\$ 994.036,82
SUBSÍDIO ROYAL SOCIETY							R\$ 32.220,00
SUBSÍDIO CPFL							
CUSTO LÍQUIDO (SEM SUBÍDIOS)							R\$ 951.916,82
CUSTO COM FINANCIAMENTO 8 ANOS							R\$ 841.438,49
CUSTO ANUAL FINANCIAMENTO (12 parc.)							R\$ 105.179,81
ECONOMIA ANUAL ENERGIA FV - 23.464,26kWh/ano x R\$ 0,77 (Tarifa UPF)							R\$ 85.637,11
REDUÇÃO DE CONSUMO RETROFIT - 2.857,91 kWh/ano x R\$ 0,77 (Tarifa UPF)							R\$ 2.200,59
CUSTO DE MANUTENÇÃO ANUAL SISTEMA FV							R\$ 30.000,00
CUSTO TROCA DE LÂMPADAS ANO 12							R\$ 51.352,00
CAIXA ANUAL (sem find)							R\$ 57.837,70
ANO	VALOR ECONOMIZADO O GERAÇÃO FV	Eficiência do painel	VALOR ECONOMIZADO GERAÇÃO FV c/ perdas	CUSTO ENERGÉTICO EVITADO RETROFIT	DESPESAS ANUAIS	FLUXO DE CAIXA	Saldo
0							-R\$ 9.900,00
1	R\$ 85.637,11	100%	R\$ 85.637,11	R\$ 2.200,59	-R\$ 266.641,81	-R\$ 178.804,11	-R\$ 188.704,11
2	R\$ 85.637,11	98,0%	R\$ 83.924,37	R\$ 2.405,91	-R\$ 251.041,51	-R\$ 164.711,24	-R\$ 353.415,35
3	R\$ 85.637,11	97,5%	R\$ 83.496,18	R\$ 2.630,38	-R\$ 235.441,22	-R\$ 149.314,66	-R\$ 502.730,01
4	R\$ 85.637,11	97,0%	R\$ 83.068,00	R\$ 2.875,79	-R\$ 219.840,93	-R\$ 133.897,14	-R\$ 636.627,15
5	R\$ 85.637,11	96,5%	R\$ 82.639,81	R\$ 3.144,10	-R\$ 204.240,64	-R\$ 118.456,72	-R\$ 755.083,88
6	R\$ 85.637,11	96,0%	R\$ 82.211,63	R\$ 3.437,45	-R\$ 188.640,35	-R\$ 102.991,27	-R\$ 858.075,15
7	R\$ 85.637,11	95,5%	R\$ 81.783,44	R\$ 3.758,16	-R\$ 173.040,05	-R\$ 87.498,45	-R\$ 945.573,60
8	R\$ 85.637,11	95,0%	R\$ 81.355,25	R\$ 4.108,80	-R\$ 157.439,76	-R\$ 71.975,71	-R\$ 1.017.549,31
9	R\$ 85.637,11	94,5%	R\$ 80.927,07	R\$ 4.492,15	-R\$ 30.000,00	R\$ 55.419,22	-R\$ 962.130,09
10	R\$ 85.637,11	94,0%	R\$ 80.498,88	R\$ 4.911,27	-R\$ 30.000,00	R\$ 55.410,15	-R\$ 906.719,94
11	R\$ 85.637,11	93,5%	R\$ 80.070,70	R\$ 5.369,49	-R\$ 30.000,00	R\$ 55.440,18	-R\$ 851.279,76
12	R\$ 85.637,11	93,0%	R\$ 79.642,51	R\$ 5.870,46	-R\$ 81.352,00	R\$ 4.160,97	-R\$ 847.118,79
13	R\$ 85.637,11	92,5%	R\$ 79.214,33	R\$ 6.418,17	-R\$ 30.000,00	R\$ 55.632,50	-R\$ 791.486,29
14	R\$ 85.637,11	92,0%	R\$ 78.786,14	R\$ 7.016,99	-R\$ 30.000,00	R\$ 55.803,13	-R\$ 735.683,16
15	R\$ 85.637,11	91,5%	R\$ 78.357,96	R\$ 7.671,67	-R\$ 30.000,00	R\$ 56.029,63	-R\$ 679.653,53
16	R\$ 85.637,11	91,0%	R\$ 77.929,77	R\$ 8.387,44	-R\$ 30.000,00	R\$ 56.317,21	-R\$ 623.336,32
17	R\$ 85.637,11	90,5%	R\$ 77.501,58	R\$ 9.169,99	-R\$ 30.000,00	R\$ 56.671,57	-R\$ 566.664,74
18	R\$ 85.637,11	90,0%	R\$ 77.073,40	R\$ 10.025,55	-R\$ 30.000,00	R\$ 57.098,95	-R\$ 509.565,79
19	R\$ 85.637,11	89,5%	R\$ 76.645,21	R\$ 10.960,93	-R\$ 30.000,00	R\$ 57.606,15	-R\$ 451.959,65
20	R\$ 85.637,11	89,0%	R\$ 76.217,03	R\$ 11.983,59	-R\$ 30.000,00	R\$ 58.200,62	-R\$ 393.759,03
21	R\$ 85.637,11	88,5%	R\$ 75.788,84	R\$ 13.101,66	-R\$ 30.000,00	R\$ 58.890,50	-R\$ 334.868,53
22	R\$ 85.637,11	88,0%	R\$ 75.360,66	R\$ 14.324,04	-R\$ 30.000,00	R\$ 59.684,70	-R\$ 275.183,83
23	R\$ 85.637,11	87,5%	R\$ 74.932,47	R\$ 15.660,48	-R\$ 30.000,00	R\$ 60.592,95	-R\$ 214.590,88
24	R\$ 85.637,11	87,0%	R\$ 74.504,29	R\$ 17.121,60	-R\$ 81.352,00	R\$ 10.273,88	-R\$ 204.317,00
25	R\$ 85.637,11	86,5%	R\$ 74.076,10	R\$ 18.719,04	-R\$ 30.000,00	R\$ 62.795,14	-R\$ 141.521,86
TIR							

Payback descontado cenário 3 com subsídios

CENÁRIO 3 - PAYBACK DESCONTADO CONSIDERANDO PEE/RGE							
SISTEMA FV 74,7kW _p / C/ MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA							
CUSTO DA PROPOSTA							
SISTEMA FV EXISTENTE							R\$ 32.220,00
SISTEMA FV ADICIONAL							R\$ 550.000,00
COMPRA RECS COMPENSAÇÃO GLP							R\$ 400,00
CERTIFICAÇÃO GBC ZERO ENERGY							R\$ 9.500,00
RETROFIT LUMINOTÉCNICO							R\$ 98.664,57
RETROFIT CLIMATIZAÇÃO							R\$ 303.252,25
CUSTO DA PROPOSTA							R\$ 994.036,82
SUBSÍDIO ROYAL SOCIETY							R\$ 32.220,00
SUBSÍDIO CPFL							R\$ 500.000,00
CUSTO LÍQUIDO (SEM SUBÍDIOS)							R\$ 461.816,82
CUSTO COM FINANCIAMENTO 8 ANOS							R\$ 841.438,49
CUSTO ANUAL FINANCIAMENTO (12 parc.)							R\$ 105.179,81
ECONOMIA ANUAL ENERGIA FV - 23.464,26kWh/ano x R\$ 0,77 (Tarifa UPF)							R\$ 85.637,11
REDUÇÃO DE CONSUMO RETROFIT - 2.857,91 kWh/ano x R\$ 0,77 (Tarifa UPF)							R\$ 2.200,59
CUSTO DE MANUTENÇÃO ANUAL SISTEMA FV							R\$ 30.000,00
CUSTO TROCA DE LÂMPADAS ANO 12							R\$ 51.352,00
FLUXO DE CAIXA ANUAL (sem financiamento)							R\$ 57.837,70
ANO	VALOR ECONOMIZADO GERAÇÃO FV	Eficiência do painel	VALOR ECONOMIZADO GERAÇÃO FV c/ perdas	CUSTO ENERGÉTICO EVITADO RETROFIT reajuste 9.33% a.a	DESPESAS ANUAIS	FLUXO DE CAIXA	Saldo
0							-R\$ 9.900,00
1	R\$ 85.637,11	100%	R\$ 85.637,11	R\$ 2.200,59	-R\$ 144.805,37	-R\$ 56.967,67	-R\$ 66.867,67
2	R\$ 85.637,11	98,0%	R\$ 83.924,37	R\$ 2.405,91	-R\$ 137.236,98	-R\$ 50.906,71	-R\$ 117.774,38
3	R\$ 85.637,11	97,5%	R\$ 83.496,18	R\$ 2.630,38	-R\$ 129.668,59	-R\$ 43.542,04	-R\$ 161.316,42
4	R\$ 85.637,11	97,0%	R\$ 83.068,00	R\$ 2.875,79	-R\$ 122.100,21	-R\$ 36.156,42	-R\$ 197.472,84
5	R\$ 85.637,11	96,5%	R\$ 82.639,81	R\$ 3.144,10	-R\$ 114.531,82	-R\$ 28.747,90	-R\$ 226.220,74
6	R\$ 85.637,11	96,0%	R\$ 82.211,63	R\$ 3.437,45	-R\$ 106.963,43	-R\$ 21.314,35	-R\$ 247.535,09
7	R\$ 85.637,11	95,5%	R\$ 81.783,44	R\$ 3.758,16	-R\$ 99.395,04	-R\$ 13.853,44	-R\$ 261.388,53
8	R\$ 85.637,11	95,0%	R\$ 81.355,25	R\$ 4.108,80	-R\$ 91.826,65	-R\$ 6.362,60	-R\$ 267.751,12
9	R\$ 85.637,11	94,5%	R\$ 80.927,07	R\$ 4.492,15	-R\$ 30.000,00	R\$ 55.419,22	-R\$ 212.331,91
10	R\$ 85.637,11	94,0%	R\$ 80.498,88	R\$ 4.911,27	-R\$ 30.000,00	R\$ 55.410,15	-R\$ 156.921,76
11	R\$ 85.637,11	93,5%	R\$ 80.070,70	R\$ 5.369,49	-R\$ 30.000,00	R\$ 55.440,18	-R\$ 101.481,57
12	R\$ 85.637,11	93,0%	R\$ 79.642,51	R\$ 5.870,46	-R\$ 81.352,00	R\$ 4.160,97	-R\$ 97.320,60
13	R\$ 85.637,11	92,5%	R\$ 79.214,33	R\$ 6.418,17	-R\$ 30.000,00	R\$ 55.632,50	-R\$ 41.688,10
14	R\$ 85.637,11	92,0%	R\$ 78.786,14	R\$ 7.016,99	-R\$ 30.000,00	R\$ 55.803,13	R\$ 14.115,03
15	R\$ 85.637,11	91,5%	R\$ 78.357,96	R\$ 7.671,67	-R\$ 30.000,00	R\$ 56.029,63	R\$ 70.144,66
16	R\$ 85.637,11	91,0%	R\$ 77.929,77	R\$ 8.387,44	-R\$ 30.000,00	R\$ 56.317,21	R\$ 126.461,87
17	R\$ 85.637,11	90,5%	R\$ 77.501,58	R\$ 9.169,99	-R\$ 30.000,00	R\$ 56.671,57	R\$ 183.133,44
18	R\$ 85.637,11	90,0%	R\$ 77.073,40	R\$ 10.025,55	-R\$ 30.000,00	R\$ 57.098,95	R\$ 240.232,39
19	R\$ 85.637,11	89,5%	R\$ 76.645,21	R\$ 10.960,93	-R\$ 30.000,00	R\$ 57.606,15	R\$ 297.838,54
20	R\$ 85.637,11	89,0%	R\$ 76.217,03	R\$ 11.983,59	-R\$ 30.000,00	R\$ 58.200,62	R\$ 356.039,16
21	R\$ 85.637,11	88,5%	R\$ 75.788,84	R\$ 13.101,66	-R\$ 30.000,00	R\$ 58.890,50	R\$ 414.929,66
22	R\$ 85.637,11	88,0%	R\$ 75.360,66	R\$ 14.324,04	-R\$ 30.000,00	R\$ 59.684,70	R\$ 474.614,35
23	R\$ 85.637,11	87,5%	R\$ 74.932,47	R\$ 15.660,48	-R\$ 30.000,00	R\$ 60.592,95	R\$ 535.207,30
24	R\$ 85.637,11	87,0%	R\$ 74.504,29	R\$ 17.121,60	-R\$ 81.352,00	R\$ 10.273,88	R\$ 545.481,18
25	R\$ 85.637,11	86,5%	R\$ 74.076,10	R\$ 18.719,04	-R\$ 30.000,00	R\$ 62.795,14	R\$ 608.276,33
						TIR	3,97%

ANEXO A – Formulário GBC zero energy



CHECKLIST CERTIFICAÇÃO GBC BRASIL ZERO ENERGY

<p>Tempo de Operação</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Empreendimento em operação a mais de 12 meses, OU</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Empreendimento em operação a menos de 12 meses</p>	<p>Eficiência Energética Mínima para Geração Off Site</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Empreendimento Certificado LEED, GBC Brasil Casa ou Condomínio, AQUA HQE, PBE Edifica A, OU</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 5% de redução anual de energia em relação a ASHRAE 90.1-2010, OU</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 18% de redução de energia em relação a ASHRAE 90.1-2007, OU</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 30% de redução de energia em relação ao DEO do CBCS, OU</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 15% de redução de energia em relação a média de 3 anos contínuos dos últimos 5 anos</p>
<p>Taxa de Ocupação Mínima</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Ocupação mínima média de 50% da área construída (não aplicável para residência)</p>	<p>Geração de Energia Renovável On Site</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 100% de Geração de energia renovável on site, OU off site, OU compra de créditos Geração de Energia Renovável On Site</p>
<p>Metragem Mínima das Áreas Construídas</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Área mínima construída de 100m² (não aplicável para residência)</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 100% das edificações e áreas comuns devem ser certificadas (aplicável para condomínios)</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> No mínimo 90% das áreas ocupadas devem ser certificadas</p>	<p>Geração de Energia Renovável Off Site</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 100% de Geração de energia renovável off site, OU compra de créditos</p>
<p>Tipologia</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Empreendimento permanente/ não provisório</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 100% das áreas da torre única devem ser medidas</p>	<p>Compra de Créditos de Energia Renovável</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Compra de REC Brasil limitado a 10% do consumo anual (não aplicável para residência)</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Compra de REC Brasil para compensação da taxa de disponibilidade (aplicável para residência)</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Compra de REC Brasil para compensação de fontes de energia não elétricas</p>
<p>Atendimento a Legislações</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Atendimento as legislações pertinentes</p>	<p>Uso de Energia Não Renovável</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Compensação de 100% de todas as fontes de energia não renovável com compra de créditos</p>
<p>Empreendimento Off Grid</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> No mínimo 5% de energia fóssil compensadas por REC's, OU</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 100% de energia renovável</p>	<p>Balanco Energético Anual do Empreendimento</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Balanço energético anual zerado por fontes renováveis, OU compra de créditos</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Balanço energético anual zerado com aquisição de REC Brasil</p>
<p>Eficiência Energética Mínima Para Geração On Site</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 100% de geração de energia renovável on site, OU</p>	





UPF

UNIVERSIDADE
DE PASSO FUNDO

UPF Campus I - BR 285, São José
Passo Fundo - RS - CEP: 99052-900
(54) 3316 7000 - www.upf.br