XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Aplicação de Conceitos Edifícios Energia Zero e um Sistema Fotovoltaico em uma Edificação na Serra Gaúcha

Application of Zero Energy Building concepts and a PV system in a building in Serra Gaúcha

Letícia Maria Frá Dall'Onder
Universidade de Caxias do Sul | Caxias do Sul | Brasil | leticiamfra@gmail.com
Msc. Marta Baltar Alves
Universidade de Caxias do Sul | Caxias do Sul | Brasil | mbalves3@ucs.br
Msc. Tiago Cassol Severo
Universidade de Caxias do Sul | Caxias do Sul | Brasil | tcsevero@ucs.br

Resumo

Este artigo visa apresentar a aplicação de conceitos de Edifício Energia Zero (EEZ) incluindo um sistema de energia solar fotovoltaica em um edifício na fase de projeto em Caxias do Sul, RS. Foram utilizadas simulações computacionais com os softwares Sketch Up, EnergyPlus e Solar Edge. A economia no consumo de energia elétrica estimada foi de 11,37%. O dimensionamento foi executado para redução de 9,65% devido ao custo-benefício. O sistema fotovoltaico estima uma geração elétrica de 43,37% com a área disponível. Sugeriu-se a utilização de módulos no solo para atingir o EEZ. A análise financeira estimou o payback em oito anos e cinco meses.

Palavras-chave: Eficiência energética. EEZ. Sistema fotovoltaico.

Abstract

This article aims to present the application of Zero Energy Building (ZEB) concepts including a photovoltaic solar energy system in a building in Caxias do Sul, RS, through computer simulations with Sketch Up, EnergyPlus and Solar Edge software and design changes. The estimated savings was 11.37%, while the sizing was performed for a reduction of 9.65% due to cost-effectiveness. The photovoltaic system estimates an electric generation of 43.37% with the available area. It was suggested to use modules on the ground to achieve the ZEB. The financial analysis estimated the payback at eight years and five months.

Keywords: Energy efficiency. ZEB. Photovoltaic system.

Como citar:
DALL'ONDER, L.M.F; ALVES, M.B; SEVERO, T.C. Aplicação de Conceitos Edifícios Energia Zero e um Sistema Fotovoltaico em uma Edificação na Serra Gaúcha. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

INTRODUÇÃO

A combinação de diferentes estratégias pode proporcionar a edifícios gerar e otimizar o consumo de energia, a ponto de se tornar possível um balanço energético nulo. Edificações como esta são conhecidas como Edifício Energia Zero – EEZ [1].

O Brasil possui atualmente 87,4% da sua matriz elétrica oriunda de fontes renováveis. Este dado é liderado pela geração hidrelétrica (60,1%), seguida por biomassa e biogás (16,6%), eólica (9,1%), e solar centralizada (1,6%) [2]. Tendo em vista o cenário atual, o objetivo deste estudo é aplicar os conceitos de EEZ e energia solar fotovoltaica em um edifício na fase de projeto no Campus 8 da Universidade de Caxias do Sul, em Caxias do Sul / RS, através de simulações computacionais.

Para tal, foi desenvolvido um método baseado em análises, modelagens e simulações computacionais, onde foram avaliados o projeto existente e o padrão de consumo do campus. Com base nisso, foram propostas alterações do projeto, visando a melhor eficiência energética e a instalação de um sistema de geração de energia solar fotovoltaica, transformando assim o edifício em EEZ. O método também apresenta uma análise técnica e financeira da proposta de edificação.

EDIFÍCIO ENERGIA ZERO (EEZ)

A ideia central do conceito EEZ está no pressuposto de que todos os edifícios possam suprir sua demanda energética através de fontes renováveis e de baixo custo, disponíveis localmente e não poluentes. No mínimo, um EEZ deve gerar energia para igualar o seu consumo anual de energia [3].

Conforme o autor, existem alguns conceitos e premissas que foram estabelecidos para ajudar a orientar as definições de EEZ, como a conexão à rede – retirar energia quando não estiver produzindo o suficiente, da mesma forma que pode injetar energia se a produção for maior que a necessidade – e priorizar tecnologias locais – dentre as opções de energia renovável, priorizar as que minimizam o impacto ambiental geral, que estará disponível durante toda a vida útil do edifício, além de serem amplamente disponíveis e ter alto potencial de reaplicação para futuros projetos [3].

Uma definição simples e rápida de um EEZ deve ser: primeiro incentivar a eficiência energética, depois utilizar fontes renováveis de energia disponíveis no local [3].

Para a concepção de um projeto com balanço energético nulo deve-se observar os fatores climáticos, principalmente em edificações residenciais. É preciso equilibrar as necessidades energéticas dependentes do clima com o potencial de produção de energia renovável [4].

A aplicação dos componentes fotovoltaicos nas edificações é possível de diferentes formas: integrados ao edifício (Building-Integrated PV - BIPV), ou anexados/adicionados (Building-Added/Attached PV - BAPV). Este último normalmente utilizado em retrofit [1].

ENERGIA SOLAR

A principal fonte de energia do nosso planeta é o Sol. Anualmente, a superfície da Terra recebe uma quantidade de energia suficiente para suprir milhares de vezes as necessidades mundiais nesse mesmo período. Somente uma pequena parcela dessa energia é aproveitada [5].

Com atenção às questões ambientais e econômicas, a energia solar fotovoltaica é a fonte alternativa que tem recebido mais atenção. Os sistemas de geração distribuída que são baseados na energia solar fotovoltaica são adequados para instalação em qualquer local que apresente incidência de luz [5].

A energia solar fotovoltaica é gerada a partir da conversão da radiação solar incidente no painel fotovoltaico em energia elétrica (corrente contínua). Este produto pode ser consumido instantaneamente, armazenado em baterias, ou transmitido para a rede de distribuição local para o consumo de outras unidades.

SISTEMAS SOLARES CONECTADOS À REDE ELÉTRICA E APLICAÇÕES NAS EDIFICAÇÕES

Neste trabalho foi abordado o modelo de microgeração. Este sistema é composto por um conjunto de módulos fotovoltaicos, um inversor para a conexão em rede, quadros elétricos e um medidor de energia. O volume gerado será consumido no local e, se houver excedente, será exportado para a concessionária gerando créditos que podem depois ser descontados da conta de energia elétrica, conforme a legislação brasileira [5].

Com o desenvolvimento de novas tecnologias, os sistemas fotovoltaicos não estão mais limitados a aplicações em telhados de edifícios, residências e estacionamentos. Hoje já existem opções para incorporar os painéis em brises, na substituição de telhas convencionais e até em janelas, substituindo vidros convencionais, surgindo como opções diferenciadas para arquitetos e engenheiros na concepção dos seus projetos [1].

MÉTODO

A pesquisa teve início com um estudo detalhado do objeto de trabalho, analisando a estrutura projetada para a edificação, como materiais, acabamentos, lâmpadas, entre outros. Para tal foram utilizados os materiais de projeto disponibilizados pela universidade, tais como planta baixa, detalhamentos, cortes, memorial descritivo, entre outros. O foco desta etapa foi verificar os aspectos que interferem na eficiência energética de forma mais significativa.

Após o levantamento de dados do consumo energético através da simulação, foi executada uma análise dos itens mais representativos de consumo, tais como revestimento, forro, aberturas, vidros etc. Foram utilizados dados de consumo energético do campus existente como comparativo e para algumas premissas de projeto, como horas de uso das salas, número de computadores, entre outros. O comparativo foi utilizado para traçar um perfil de consumo e rotina dos usuários do campus.

Com os dados da simulação da nova edificação e os dados reais de outras unidades, os autores reuniram informações suficientes para propor alterações no projeto original. Foram avaliados os pontos que apresentaram baixa eficiência energética e proposto melhorias, tais como: alteração de revestimentos, espessura dos materiais, troca de equipamentos e afins. Estas alterações serão apresentadas em forma de gráficos contendo os valores conforme os parâmetros originais e com as modificações propostas.

Em seguida, foram executadas as modificações na modelagem, conforme propostas na fase anterior, e geradas novas simulações dos softwares já mencionados. Este conjunto de atividades (propor alterações – nova modelagem – novas simulações) foram executados em até três vezes subsequentes com resultados positivos, ou seja, se a modificação proposta não apresentou resultados positivos, retornou-se à posição inicial e recomeçou-se o procedimento.

Findadas as simulações com as alterações propostas, foi projetado um sistema fotovoltaico para edificação, com base nos conceitos de BIPV e BAPV, objetivando alcançar o patamar de Edifício Energia Zero.

Por fim, foi realizado um estudo de viabilidade técnica e econômica do sistema proposto. A viabilidade técnica foi avaliada considerando os materiais e mão de obra disponíveis nas proximidades, bem como aspectos climáticos e a viabilidade econômica através do cálculo de retorno do investimento.

APRESENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

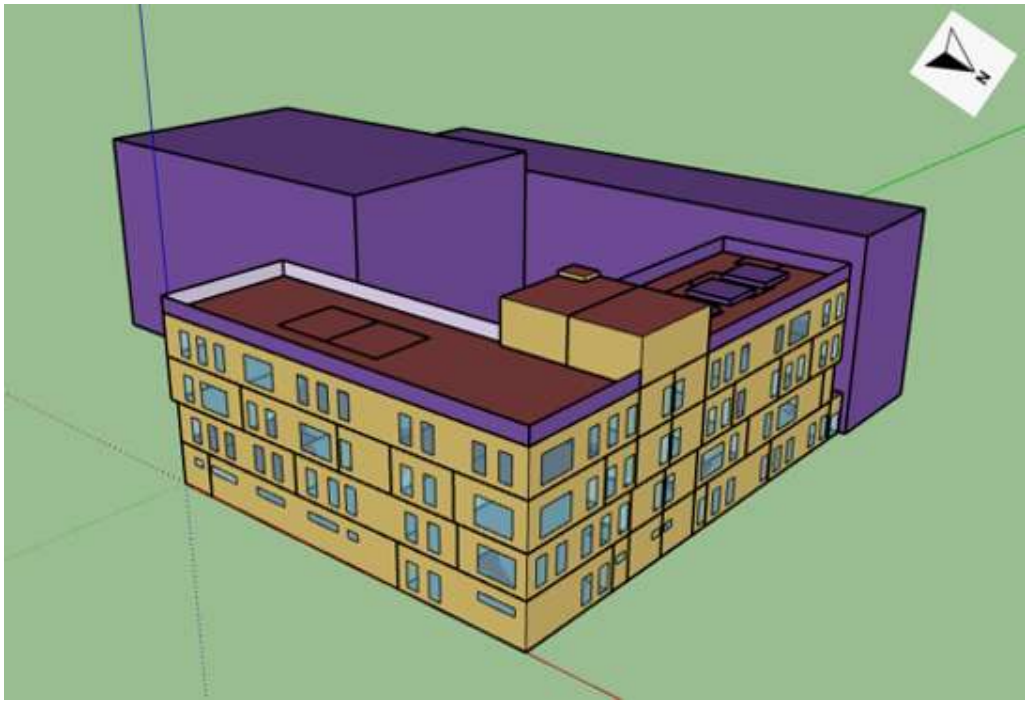
A edificação estudada foi um projeto de ampliação do complexo do antigo colégio Santa Francisca Xavier Cabrini, hoje conhecido como Campus 8, da Universidade de Caxias do Sul. Esta será composta por quatro pavimentos mais terraço, onde estarão localizados laboratórios, áreas de exposição, espaços de lazer e área de coworking e startup.

A edificação será construída em estrutura moldada in loco de concreto, com alvenaria interna e externa em blocos de concreto. Os revestimentos de piso serão em granito para soleiras e escadas, além de porcelanato e piso cimentício alisado. As vedações internas serão em blocos de concreto nas dimensões 9x19x39cm. As paredes serão de bloco aparente em sua maioria, algumas recebem acabamento de chapisco, emboço e reboco para posteriormente aplicação de tinta látex acrílico. As áreas úmidas receberão chapisco, emboço e reboco para posteriormente aplicação de revestimento cerâmico [6].

MODELAGEM DA EDIFICAÇÃO

A primeira etapa operacional do estudo consistiu na modelagem da edificação no Sketch Up, baseada nas plantas no projeto disponibilizadas pela universidade, para depois dar início as simulações no EnergyPlus. A Figura 1 apresenta a modelagem da edificação no Sketch Up.

Figura 1: Modelagem no Sketch Up



Fonte: Autora (2020).

SIMULAÇÕES NO ENERGYPLUS

O EnergyPlus é um software de simulações computacionais para a análise de edificações. Nele é possível calcular o desempenho térmico com base nas características construtivas, geográficas e de ocupação, além de permitir incluir dados de geração de energia fotovoltaica.

Antes de gerar a simulação de dados no EnergyPlus para alcançar o padrão de consumo da edificação, foi necessário incluir dados relativos ao uso de equipamentos, iluminação e ar condicionado. Também foi preciso estimar a população de cada ambiente e estabelecer um programa de ocupação do espaço. Os valores para iluminação e equipamentos foram utilizados com base no Manual do RTQ-C do Procel Edifica [7].

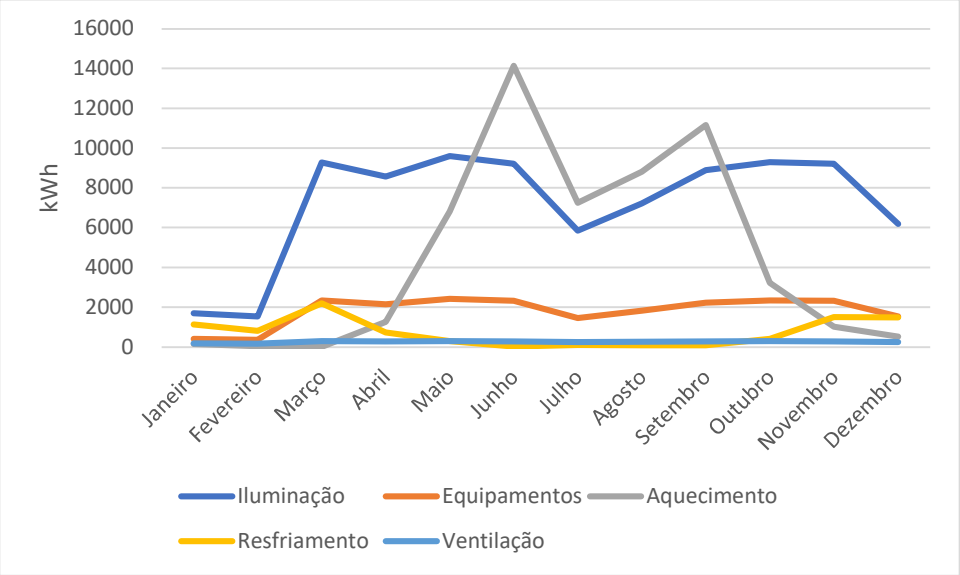
O uso de ar-condicionado foi considerado nos ambientes de permanência prolongada, tais como salas de reuniões, laboratórios e ambientes comerciais (café, academia, salão de beleza). Nestes ambientes foram consideradas as temperaturas de conforto como 21°C para o verão e 24°C para o inverno.

A taxa de ocupação do espaço foi estimada pelos autores com base na tipologia da edificação. Por pertencer a uma universidade, o período de férias escolares foi estabelecido com um uso consideravelmente menor que o período letivo. O uso dos finais de semana também é diferente do uso dos dias de semana.

Para este trabalho, os dados utilizados foram os de consumo anual energético da edificação, que serão apresentados conforme o mês de consumo e conforme a categoria. As categorias consideradas são: Eletricidade – que corresponde ao consumo

total -, Iluminação, Equipamentos, Aquecimento, Resfriamento e Ventilação. Assim, a Figura 2 apresenta o consumo anual do edifício (kWh), obtido através das simulações e classificado pelo mês e modalidade de consumo.

Figura 2: Consumo energético anual por período e modalidade de consumo



Fonte: Autora (2020).

Observa-se pelo gráfico que o consumo energético de iluminação é similar no período letivo, tendo valores menores nos meses de férias – janeiro e fevereiro integralmente, julho e dezembro parcialmente. O consumo para aquecimento dos ambientes são os que atingem os valores mais altos, iniciando em abril e finalizando em novembro, com uma queda no período de férias escolares.

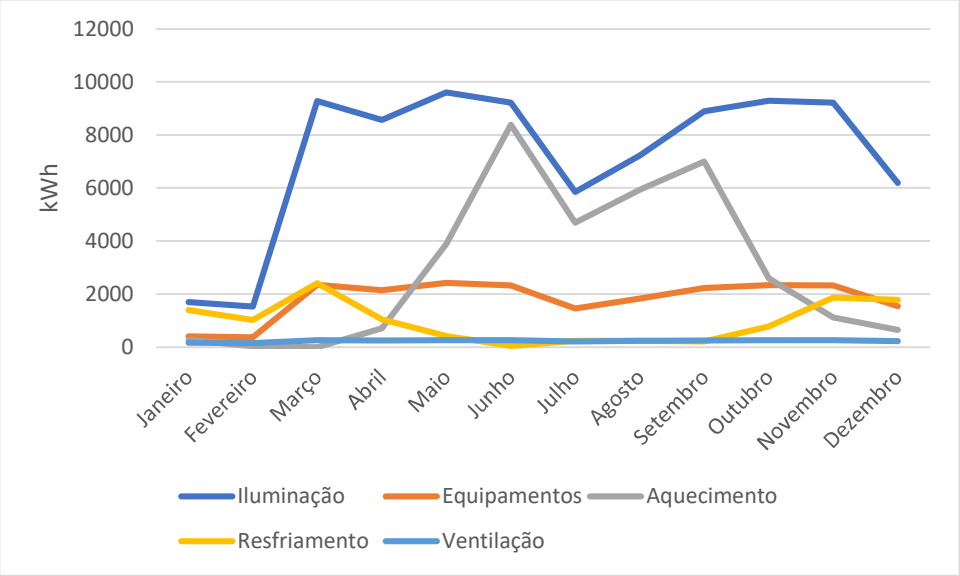
Após estas análises, foram propostas alterações no projeto a fim de reduzir o consumo anual da edificação. Tais como a alteração de construção das paredes externas, incluindo a lã de rocha e a alteração da espessura do vidro das janelas. Essas propostas foram criadas com o propósito de reduzir o consumo de energia para aquecimento e resfriamento. Na sequência serão apresentados os resultados com as propostas de melhoria.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

LÃ DE ROCHA 10 CM NAS PAREDES EXTERNAS

Com o acréscimo de lã de rocha nas paredes externas, foi possível melhorar o conforto térmico da edificação. A Figura 3 apresenta o consumo anual do edifício (kWh) classificado pelo mês e modalidade de consumo após essa alteração.

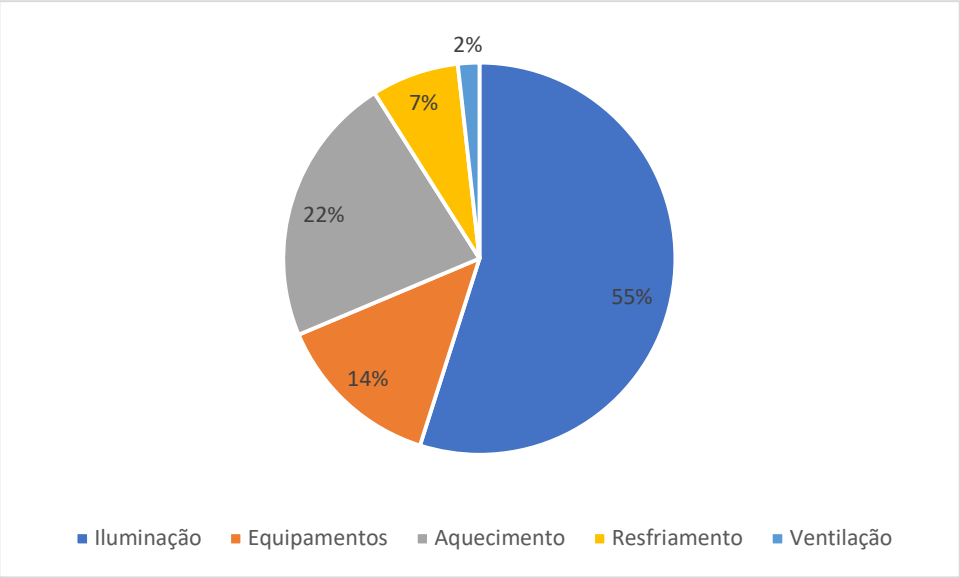
Figura 3: Consumo energético anual por período e modalidade de consumo – Lã de rocha



Fonte: Autora (2020).

Verifica-se pelo gráfico que o consumo para aquecimento reduziu, ficando abaixo do consumo de iluminação. Os demais usos não apresentaram alterações significativas. A Figura 4 apresenta os percentuais do consumo ao longo do ano, separados pela modalidade.

Figura 4: Consumo energético anual por modalidade de consumo – Lã de rocha



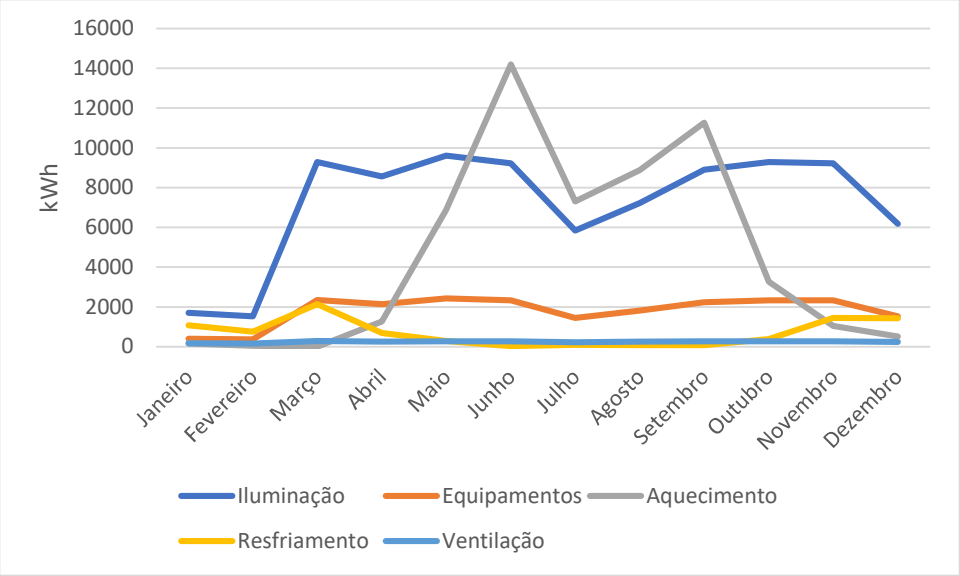
Fonte: Autora (2020).

Identifica-se pelo gráfico que a fatia responsável pelo aquecimento da edificação reduziu de 31% para 22%. Além disso, o consumo total do edifício reduziu em 9,65%.

VIDRO 12 MM

Outra alteração proposta foi a alteração dos vidros das janelas de 6 mm para 12 mm. Este ajuste foi aplicado apenas as janelas, as estruturas com pele de vidro permaneceram em 6 mm. A Figura 5 apresenta o consumo anual do edifício (kWh) classificado pelo mês e modalidade de consumo após essa alteração.

Figura 5: Consumo energético anual por período e modalidade de consumo – Vidro 12 mm



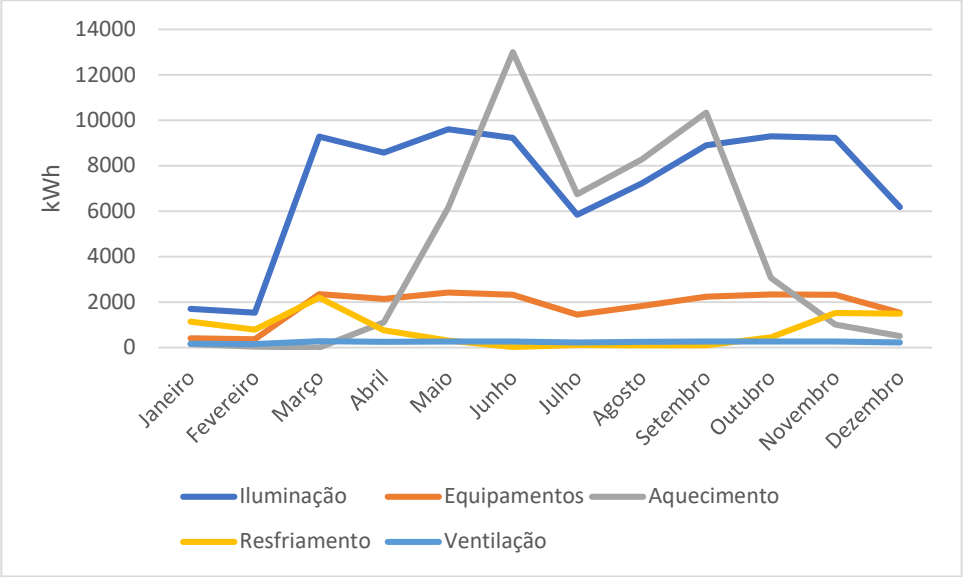
Fonte: Autora (2020).

Nesta simulação, percebe-se que praticamente não houve alterações em relação ao cenário inicial, conforme a construção original. Com estes dados é possível verificar que não houve alterações significativas no consumo energético nesta opção. Analisando o valor total anual de consumo, a opção com o vidro de 12 mm acaba resultando em um consumo 0,05% maior que o projeto original, logo ela não será considerada no decorrer do projeto.

VIDRO DUPLO

Tendo observado que a opção com o vidro de maior espessura não apresentou resultados satisfatórios, foi proposta a alteração das janelas – exceto banheiros – por vidro duplo. A composição destas aberturas ficou com vidro 6 mm, uma camada de ar de 13 mm e outro vidro 3 mm, sendo o vidro de 6 mm o externo. Assim como os demais testados, todos os vidros são translúcidos. A Figura 6 apresenta o consumo anual do edifício (kWh) classificado pelo mês e modalidade de consumo após essa alteração.

Figura 6: Consumo energético anual por período e modalidade de consumo – Vidro duplo



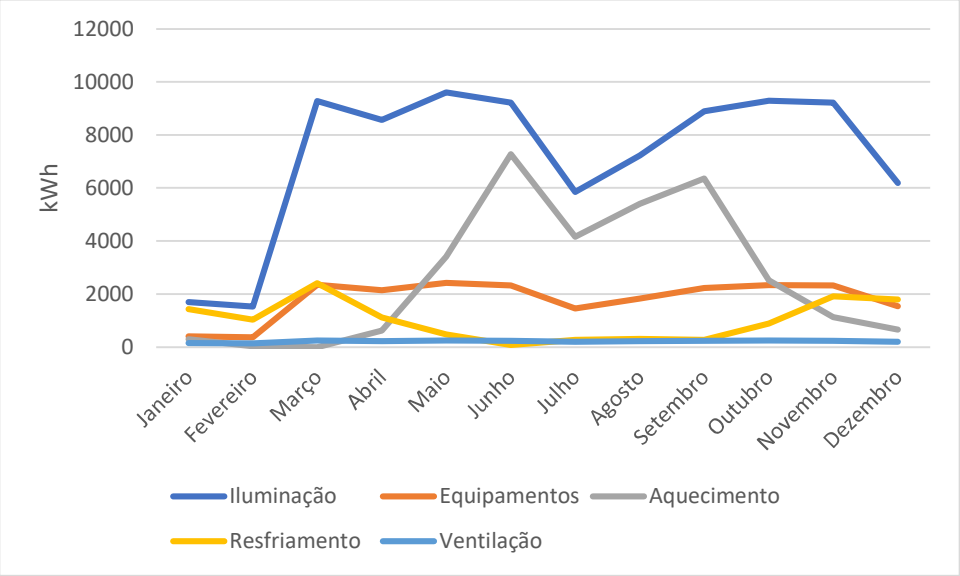
Fonte: Autora (2020).

Neste cenário, o consumo de energia elétrica para o aquecimento reduziu em relação ao projeto, porém não de forma significativa como na possibilidade com lã de rocha. Este gráfico demonstra que houve redução no consumo energético para aquecimento que reflete no consumo total da edificação. Nesta alternativa a redução foi de 2,29%.

LÃ DE ROCHA E VIDRO DUPLO

Visando a eficiência energética, foi realizada uma última simulação combinando as duas opções que apresentaram resultados positivos: lã de rocha 10 cm nas paredes externas e o vidro duplo nas janelas da edificação, exceto banheiros. A Figura 7 apresenta o consumo anual do edifício (kWh) classificado pelo mês e modalidade de consumo após essa alteração.

Figura 7: Consumo energético anual por período e modalidade de consumo – Lã de rocha e vidro duplo



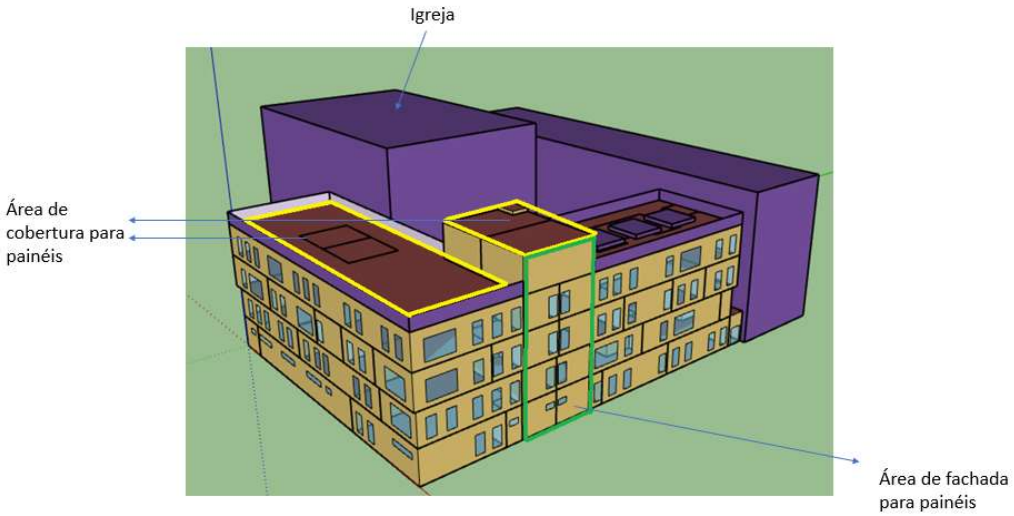
Fonte: Autora (2020).

Com este último cenário, o consumo de energia elétrica da edificação foi reduzido em 11,37% em relação a edificação original. Com as informações apresentadas e o consumo elétrico avaliado, o sistema fotovoltaico foi dimensionado com base nesta opção e na alternativa com apenas a lã de rocha, para posterior estudo de viabilidade financeira.

DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A geração de energia elétrica do edifício foi projetada através de um sistema fotovoltaico. Para tal, foram consideradas duas áreas de cobertura e uma área de fachada para receber os painéis. O dimensionamento foi executado através do software Solar Edge. A Figura 8 apresenta as áreas onde foi projetada a instalação das placas.

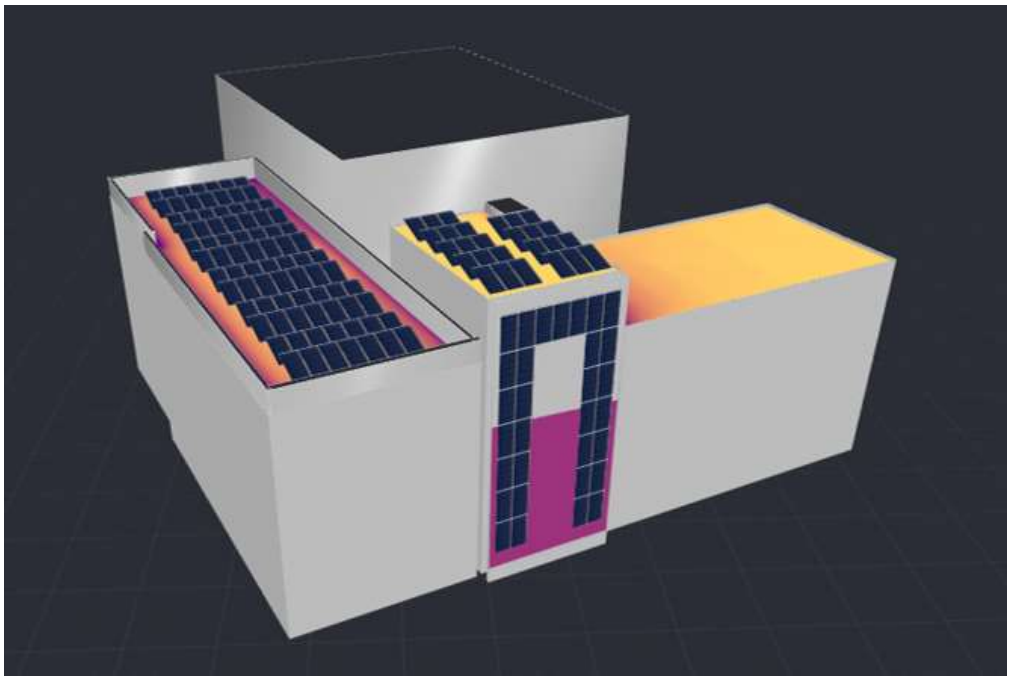
Figura 8 - Áreas para instalação das placas fotovoltaicas



Fonte: Autora (2020).

O sistema foi projetado com um inversor de 50 kWp para as duas coberturas e um inversor de 12,5 kWp para a fachada. Referente aos painéis, na cobertura de maior área foram considerados 84 módulos de 440 W, com capacidade de 36,96 kWp. Já a outra cobertura foi projetada com 27 módulos de mesma potência. Na fachada foram considerados 31 módulos, iguais aos supracitados. A inclinação dos módulos de cobertura é de 20°. A Figura 9 demonstra como ficarão os módulos instalados na edificação.

Figura 9: Proposta de sistema fotovoltaico para a edificação



Fonte: Solar Edge (2020).

Para ser considerado EEZ, o sistema deveria gerar 154,63 MWh/ano, porém com este sistema consegue-se gerar 67,06 MWh/ano, o que corresponde a 43,37%. Para conseguir tornar nulo o balanço energético anual do edifício, seria necessário aumentar o sistema fotovoltaico.

Poderia ser utilizada a outra área de cobertura, porém ela foi projetada como um terraço, com bancos para as pessoas circularem, como uma área de lazer. Projetar alguma alteração nesta área seria modificar o uso do edifício, desta forma optou-se por não fazê-la. Outra opção seria aumentar a área de painéis da fachada, porém estes alteram de forma mais significativa o visual do edifício.

Por fim, outra alternativa seria o uso de painéis no solo, o que só é possível se houver área suficiente e um certo afastamento de outras construções ou elementos que possam provocar sombreamento nas placas. Simulando o sistema com placas no solo, seria necessário utilizar 154 placas conforme especificação das demais para atingir a geração de 154,63 MWh/ano. Para atingir 157,63 MWh/ano – consumo com lã de rocha, sem as alterações nas aberturas – seriam necessárias 158 placas no solo.

Em termos de projeto fotovoltaico, esta diferença corresponde a R$ 4.756,64, o que torna o projeto com apenas a lã de rocha o mais vantajoso dentre as opções. A análise financeira será apresentada para a instalação do sistema de 67,06 MWh/ano - sem placas no solo - e para o sistema de 157,63 MWh - com placas no solo, projeto com lã de rocha nas paredes externas.

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para calcular o investimento neste projeto, foi realizado o cálculo da edificação através do CUB/m², acrescentando o orçamento para o sistema fotovoltaico e o incremento de valor pelas modificações propostas no projeto. Para o cálculo desta edificação, foi

considerado o projeto padrão CAL-8N de outubro de 2020, calculado pelo SINDUSCON-RS. Sendo a área atual do edifício de 3034 m² e o valor do CUB/m² considerado de R$ 2.095,18 [8], o orçamento da edificação conforme projeto seria de R$ 6.356.776,12.

Para a estimativa de custo da lã de rocha, o valor da instalação por m² foi retirado da tabela de composições do SINAPI de setembro/2020, sendo este de R$ 33,23. Já o orçamento do material foi retirado de lojas do ramo, sendo considerado neste orçamento o valor de R$ 104,17/m² [9]. A proposta foi de inserir a lã de rocha nas paredes externas, logo, somando as áreas de parede externa chega-se a área de 1690 m², multiplicando pelo valor por m² temos o investimento de R$ 232.206,00.

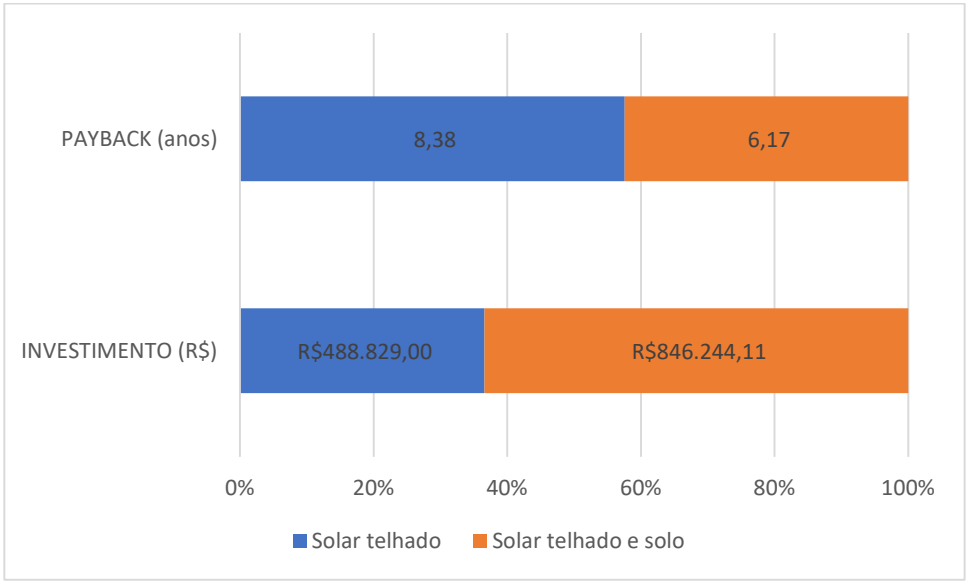
O sistema fotovoltaico sem as instalações de solo foi orçado em R$ 256.623,00, lembrando que desta forma a edificação não seria EEZ. Com as placas no solo, o orçamento é de R$ 614.038,11.

Considerando o custo do kWh R$ 0,87, o sistema sem as placas de solo geraria uma economia anual de R$ 58.342,20. Considerando o investimento de R$ 256.623,00 do sistema mais R$ 232.206,00 da lã de rocha, em um payback simples, seria compensado em 8 anos e 5 meses. Se considerarmos apenas o sistema solar fotovoltaico o payback simples fica em 4 anos.

Já no sistema com as placas no solo a economia anual seria de R$ 137.138,10. Considerando o investimento de R$ 614.038,11 do sistema mais R$ 232.206,00 da lã de rocha, em um payback simples, seria compensado em 6 anos e 3 meses. Desta forma, em termos de retorno financeiro, com os dados obtidos até então, é vantajoso instalar o sistema com as placas no solo também.

A Figura 10 apresenta estes comparativos de investimento com o respectivo tempo de retorno.

Figura 10 - Comparativo de investimentos e tempo de retorno



Fonte: Autora (2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral deste trabalho foi aplicar conceitos de EEZ e energia solar fotovoltaica para um projeto de edifício no Campus 8 da UCS, em Caxias do Sul. Ao final deste estudo pode-se dizer que este resultado é possível. A preocupação com um consumo mais consciente de bens e serviços é uma realidade, assim como a tecnologia que proporciona fontes de energia renováveis com custos e serviços mais acessíveis.

É importante destacar que um projeto de EEZ não é simples de ser executado, uma vez que ele pressupõe não apenas a geração de energia suficiente para suprir a sua demanda anual, como a eficiência energética, que é alcançada substituindo equipamentos antigos, de baixa eficiência, assim como o sistema de iluminação e fazendo adequações para otimizar o conforto térmico da edificação. Estudos com estas características possuem um maior potencial quando realizados com a edificação na fase de projeto, onde é possível propor melhorias desde as primeiras etapas construtivas. Neste estudo, fazendo uma alteração nas paredes externas, foi possível reduzir 11,37% do consumo energético da edificação.

REFERÊNCIAS

[1] Didoné, E. L., Wagner, A. e Pereira, F. O. R. (2014**) "Estratégias para edifícios de escritórios energia zero no Brasil com ênfase em BIPV TT - Strategies towards Net Zero Energy Office Buildings in Brazil with emphasis on BIPV"**, *Ambiente Construído*, 14(3), p. 27–42. doi: 10.1590/S1678-86212014000300003.

[2] ABSOLAR. 2020. **Infográfico ABSOLAR.** Disponível em: <http://www.absolar.org.br/infografico-absolar.html> Acesso em 26 nov. 2020.

[3] Torcellini, P. *et al.* (2006) **"Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition"**, *ACEEE Summer Study Pacific Grove*, p. 15. doi: 10.1016/S1471-0846(02)80045-2.

[4] AELENEI, Daniel et al. Edifícios de balanço energético nulo:. **Eficiência & Energia Europa**: Uma síntese das características principais, p. 70-74, 2013.

[5] VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica:** Conceitos e Aplicações. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

[6] PJJMALUCELLI, **Memorial Descritivo – Bloco 02 Startup.** 2020.

[7] PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **VERSÃO 4.0**: **Regulamento para concessão do Selo Procel de Economia de Energia para Edificações.** Brasília: Procel, 2019.

[8] SINDUSCON-RS. 2020. **CUB/RS do mês de OUTUBRO/2020.** Disponível em: < https://sinduscon-rs.com.br/wp-content/uploads/2020/11/Pre%C3%A7o-e-Custos-da-Constru%C3%A7%C3%A3o-1-NOVEMBRO-2020.pdf> Acesso em 15 nov. 2020.

[9] PORTAL DA ACUSTICA. 2020. Disponível em: <https://www.portaldaacustica.com.br/produto/192/placa-la-de-rocha-1200-x-600-x-100-mm-densidade-32kgm?gclid=Cj0KCQiAwMP9BRCzARIsAPWTJ_HnUvn4e1PCcK3lyG1VjVB-rUm4jDSO0qhG_G-0Ye2PzVqNUq2g37oaAhvOEALw_wcB> Acesso em 15 nov. 2020.