AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UNIDADE BÁSICA DE SAÚDE I VISANDO O NZEB: ESTUDO DE CASO PARA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

William Rosseti Fernandes (1); Alexandre Santana Cruz (2); Lucas Rosse Caldas (3)
(1) Especialista em Arquitetura para Saúde, Mestrando do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, william.fernandes@fau.ufrj.br, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
(2) Mestre, Doutorando do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, alexandre.cruz@fau.ufrj.br, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
(3) PhD, Professor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, lucas.caldas@fau.ufrj.br, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Pedro Calmon, 550 - Cidade Universitária da UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, 21941-485

RESUMO
Atualmente, a crescente discussão sobre energia e sua utilização de forma consciente e a necessidade de descarbonização toma conta da atenção da sociedade, estimulando eventos nacionais e internacionais sobre o tema. Diante de importantes estímulos o Brasil desenvolveu o Programa Brasileiro de Etiquetagem de edificações - PBE-edifica, que possui o objetivo de estimular a eficiência energética no país através de parâmetros mínimos para aprovação das futuras edificações. Esse processo é visto como um importante passo para um país que apresenta em suas edificações as responsáveis pelo consumo de 50% do uso final de energia elétrica. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de um Sistema fotovoltaico conectado à rede para a edificação de uma Unidade Básica de Saúde tipo I, situada na cidade do Rio de Janeiro-RJ. Através da simulação computacional, foram simulados o desempenho de um sistema capaz de suprir a demanda energética em busca do equilíbrio do *Net Zero Energy Building* (Edifício de Balanço de Energia Zero) - *NZEB*. Os resultados obtidos mostram que o alto consumo energético da edificação é tido como um obstáculo a implementação de uma edificação NZEB, por conta da demanda energética e do espaço físico resultante para o sistema. A alternativa adotada foi *Nearly Net Zero Energy Buiding - nNZEB,* onde a adoção de diretrizes para aquisição de equipamentos e iluminação mais eficientes tende a aumentar seu impacto na eficiência da edificação. A presente pesquisa contribui por apresentar uma alternativa de descarbonização focada em edificações de saúde, que normalmente são pouco exploradas na literatura científica.
Palavras-chave: Simulação computacional, eficiência energética, Unidade Básica de Saúde, Zero Energy Building.

ABSTRACT
Currently, the growing discussion about energy and its conscious use and the need for decarbonization takes the attention of society, stimulating national and international events on the subject. Faced with important stimuli, Brazil developed the Brazilian Building Labeling Program - PBE-edifica, which has the objective of stimulating energy efficiency in the country through minimum parameters for approval of future buildings. This process is seen as an important step for a country whose buildings are responsible for the consumption of 50% of the final use of electricity. Within this context, the objective of this work was to evaluate the performance of a photovoltaic system connected to the grid for the construction of a Basic Health Unit type I, located in the city of Rio de Janeiro-RJ. Through computer simulation, the performance of a system capable of supplying the energy demand in search of the equilibrium of the Net Zero Energy Building - NZEB was simulated. The results obtained show that the high energy consumption of the building is seen as an obstacle to the implementation of an NZEB building, due to the energy demand and the resulting physical space for the system. The alternative adopted was Nearly Net Zero Energy Building - nNZEB, where the adoption of guidelines for the acquisition of more efficient equipment and lighting tends to increase its impact on the efficiency of the building. This research contributes by presenting a decarbonization alternative focused on health buildings, which are usually little explored in the scientific literature.
Keywords: Computer simulation, energy efficiency, Primary Healthy, Net Zero Energy Building.

1. INTRODUÇÃO

O crescente uso de energia elétrica e seus modos de uso racionais tem sido foco de diversos encontros nacionais e internacionais. Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU), estabeleceu em Paris um acordo entre seus estados signatários denominada como Acordo de Paris, que culminou na "Agenda 2030". O acordo conta com dezessete objetivos, classificados como Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Os ODS buscam a erradicação da pobreza e uma real forma de possibilitar que todos tenham acesso ao desenvolvimento sustentável (NAÇÕES UNIDAS, 2022). Dentre os 17 ODS, o item 7 é voltado diretamente para a discussão acerca das fontes energéticas e suas características, e foi denominado como Energia Limpa e Accessível.

Dentre os principais pontos abordados no item 7, o aumento das fontes renováveis de produção energética tem destaque, onde três dos cinco subitens tratam do tema. Para alcançar tais metas os estados signatários da ONU desempenham um protagonismo importante, uma vez que é papel do governo ser o indutor dessas premissas para o mercado (TIMM; PASSUELLO, 2021). Como exemplo desse papel fundamental desempenhado no Brasil, temos a busca pela implementação da obrigatoriedade da etiquetagem das edificações através do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE-Edifica).

O PBE-Edifica tem como objetivo promover a redução do consumo da energia pelas edificações através da adoção de parâmetros mínimos de desempenho energéticos para aprovação e construção de novas edificações, onde se analisa equipamentos, envoltória e índices de desempenho operacional através da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2021).

No Brasil, atualmente, as edificações são responsáveis pelo consumo de 50% do uso final de energia elétrica e 40% da produção de CO_2 relacionadas a produção da mesma (NIEHUNS ANTUNES; GHISI, 2021) e tem uma tendencia de aumento de demanda de 2,2% ao ano no país, média maior que a mundial no mesmo período (BRITISH PETROLEUM, 2022).

Diante do cenário energético brasileiro e o impacto do setor construtivo, diversas pesquisas são desenvolvidas nos âmbitos privados e públicos, que buscam trazer informações e ferramentas capazes de apontar soluções para aumentar a eficiência energética das edificações. Segundo apontam os relatórios apresentados pela Empresa de Pesquisa Energética, denominados como Plano Nacional de Energia (PNE 2050), em determinado cenário apresentado no relatório os ganhos com a eficiência energética das edificações podem chegar a contribuir com a redução da necessidade de 321 TWh de consumo, o que representa 17% do valor total, e corresponderia a duas vezes o consumo do setor industrial brasileiro em 2019 (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2020).

Com foco no aumento da eficiência energética das edificações, as analises através de simulações computacionais vem se tornando cada vez mais difundidas e eficientes, e diversos países buscam desenvolver programas com foco na eficiência e desempenho das edificações. O governo dos Estados Unidos, através do Departamento de Energia disponibiliza na internet uma lista com diversos *softwares* de simulação de edificações, além de ferramentas de gerenciamento para aplicação de programas de eficiência na construção (U. S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2023.).

Assim como no mundo, o Brasil possui diversos estudos sobre conforto térmico de tipologias como escritórios, residências, escolas e universidades, porém pesquisas que abordam a edificação hospitalar são mais raras e quando ocorrem abordam temas relacionados a ambientes ventilados mecanicamente. Quando se pensa em edificações de saúde de pequeno porte são ainda mais raras as abordagens em pesquisas publicadas. Entre alguns dos estudos que apresentam a tipologia de pequeno porte da saúde está o estudo realizado pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) em convenio com a Eletrobras com foco no desenvolvimento de benchmarks energéticos e dentre eles estava contido, dentre outras, o posto de saúde. O estudo concluiu que para os postos de saúde os parâmetros de graus-hora de resfriamento e aquecimento, tipo de sistema de condicionamento de ar, densidade de potência de iluminação e absorbância solar da fachada apresentaram impacto significante sobre o consumo total da edificação.

Em outro estudo Neto, Almeida e Nunes (2019) avaliaram a eficiência energética da envoltória da UBS porte II, utilizando critérios do RTQ-C para a zona bioclimática 7. Constataram a partir do mesmo que o projeto original não obteve resultado positivo sendo que alterações em parâmetros como as propriedades da envoltória, a absorbância principalmente, contribuiu expressivamente para melhorias das condições de conforto.

Em meio a essas discussões e como parte da solução para aumentar a eficiência energética das edificações, busca-se uma solução para diminuir a dependência de energias de fontes não renováveis das edificações. Denominada como Net *Zero Energy Building* (NZEB) o objetivo é tornar o balanço energético da

edificação nulo, ou *Nearly Net Zero Energy Building (nNZEB)* quando há limitações para esse potencial. Essa solução busca estimular a produção da energia dentro da própria edificação (*onsite*), ou nos arredores próximos (*offsite*) de forma que diminua o impacto causado pela produção de energia em larga escala. Fazendo com que a edificação entre em equilíbrio, ou próximo disto, diante da energia consumida por todos os seus sistemas e a produção de energia local (VIRTA et al., 2011). Apesar do Brasil não ter uma definição para NZEBs, existem portarias que permitem a microgeração de energia dentro de edifícios. Em 2015, a Agência Nacional de Energia Elétrica publicou a portaria (ANAEL, 2015), que regula e permite a microgeração de energia dentro de edifícios.

2. OBJETIVO E CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA

O presente trabalho apresenta a simulação do desempenho da produção energética *onsite* de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) para um projeto padrão da edificação Unidade Básica de Saúde I (UBS I), considerando o consumo de energia elétrica baseado no desempenho lumínico, no gasto com condicionamento de ar e nos equipamentos utilizados na edificação. Para a análise do SFCR foi ensaiado pela simulação duas circunstâncias, sendo elas: I) a demanda total de energia elétrica da edificação e o porte do SFCR; II) a capacidade da produção apenas dentro dos limites do telhado da edificação. A edificação será simulada como pertencente a malha urbana da cidade do Rio de Janeiro, inserida na Zona Bioclimática 8. O estudo contribui cientificamente por avaliar uma tipologia bastante empregada no país e poderá auxiliar em termos de diretrizes projetuais que visem um maior desempenho energético da mesma. Adicionalmente, poderá estimular e fomentar a promoção de políticas públicas para o segmento de saúde, que ainda recebe pouca atenção na literatura científica do ponto de vista da eficiência energética (quando comparada ao segmento residencial e comercial).

3. MÉTODO

Para o desenvolvimento deste trabalho seguiu-se as seguintes etapas metodológicas: Primeiramente, foi desenvolvido um modelo eletrônico da UBS I com o *software SketchUp*, com o apoio da extensão *Euclid*,. Segundo, as simulações foram calculadas através do software *Energy Plus v8.9*, onde foram inseridos todos os parâmetros técnicos da edificação conforme estabelecido no projeto padrão disponibilizados no site do Ministério da Saúde. A terceira etapa seguiu-se através do dimensionamento do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR), com a retroalimentação da simulação com os dados do SFCR. Por último seguiu-se para das análises dos dados e apresentação do resultado.

3.1. Modelo Padrão da UBS I

O estudo de caso definido para este trabalho é uma edificação padrão da Unidade Básica de Saúde (UBS I), cujo projeto foi desenvolvido pelo escritório de Arquitetura MEP - Arquitetura e Planejamento Ltda-EPP/ Pró-Saúde - Profissionais Associados e disponibilizado, em sua integra, no site do ministério da saúde.

A edificação conta com 24 ambientes e 3 depósitos de resíduos sólidos, conforme tabela 1, e sua organização segue a planta a seguir, figura 2 (A). Desses ambientes, 12 são classificados como de longa permanência, ou seja, a ocupação do ambiente por pessoas tende a ser integral durante o funcionamento do edifício. Os outros 10 ambientes são classificados como de curta permanência, onde suas atividades são complementares, e não exigem permanência prolongada de um indivíduo em sua execução. Os últimos dois espaços são os corredores de conexão entre os demais, portanto de passagem apenas.

(A) (B)

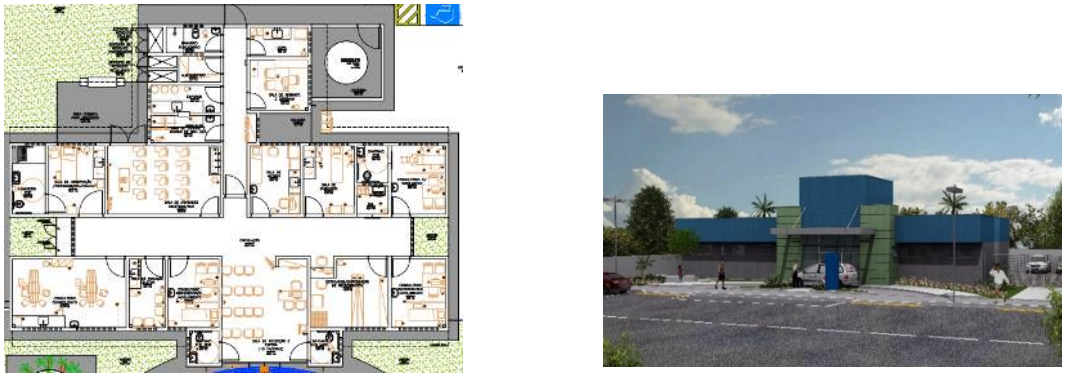


Figura 1 (A) Planta baixa; (B) Vista 3D da UBS I simulada. (Fonte: Ministério da Saúde, 2023)

O projeto faz parte do programa do governo federal que busca a requalificação das UBS em todo território nacional, sendo estratégia importante para o fortalecimento da atenção básica no Sistema Único de Saúde (SUS), portanto o emprego da edificação se fará em todo território nacional. A figura 2 apresenta alguns exemplos já executados em cidades de diferentes regiões do país.

(A) (B) (C)



Figura 2 UBS do Bairro Laranjeiras na Cidade de Quixabeira BA [ZB8] (Fonte: Site da Prefeitura de Quixabeira, 2022); (B) Saúde da Família do Bairro Jardim Sapezal na Cidade de Sapezal MT [ZB7] (Fonte: Site da Prefeitura de Sapezal, 2022); (C)UBS do Bairro Guabiroba na Cidade de Pelotas RS [ZB3] (Fonte: Site da Prefeitura de Pelotas, 2022)

3.2. Definição do modelo de simulação computacional

A simulação da edificação realizada através do *software SketchUp*, com apoio do *pluging Euclid*, foi desenvolvida com foco nos ambientes de permanência prolongada, portanto houve uma simplificação da geometria, onde os ambientes de curta permanência foram integrados entre si ou à um ambiente de longa permanência, assim cada setor da figura 4 corresponde a uma determinada Zona Térmica. É importante ressaltar que a densidade dos equipamentos e da iluminação foram contabilizadas com ambiente a que foram somados, de forma a evitar falha de quantificação da carga de calor gerada pelos mesmos. A figura 4 a seguir apresenta a planta baixa em conformidade com a simplificação citada, e o modelo tridimensional da UBS I.

(A) (B)

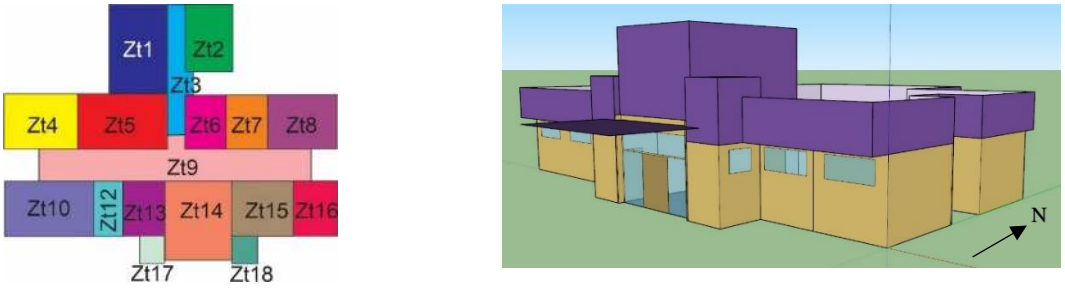


Figura 3 (A) Divisão das Zonas Térmicas da UBS I; (B) UBS I Modelo no SketchUp (Fonte: Autores, 2023)

A tabela 1 apresenta uma relação entre os ambientes de longa permanência da UBS I, sua Zona Térmica (ZT), o número de pessoas que a utiliza o ambiente conforme configuração da atividade praticada e layout no projeto padrão. Bem como as cargas térmicas internas produzidas pelos equipamentos, sistema de iluminação e pessoas em cada ambiente. As zonas de curta permanência foram atribuídas apenas as cargas térmicas de iluminação, e não constam na tabela.

Tabela 1 Zonas e Cargas térmicas internas da UBS I

Fonte		Carga térmica: Pessoas			Carga Térmica: Iluminação		Carga Térmica: Equipamentos		
		(ANVISA, 2002)	(ASHRAE, 2004)	NBR, 2005	(Brasil, 2013)	(ASHRAE, 2017)	(Brasil, 2013)	(ASHRAE, 2017)	(Brasil, 2013)
ZT	Ambiente	Nº Ocupantes	Fração Radiante	Taxa Metabólica Total [W/h]	Potência [W/m²]	Fração Radiante	Equipamento	Potência [W/m²]	Fração Radiante
2	Copa	3	0,50	210	14,22	0,37	Geladeira Micro-ondas	500	0,20
	Adminis-tração	1	0,50	70	8,20	0,37	Computador + Impressora	44,23	0,20

4	Observação e Coleta	2	0,50	140	12,61	0,37	-	-	-
5	Sala de Atividades	13	0,50	910	12,61	0,37	-	-	-
6	Sala de Vacinas	2	0,50	140	14,06	0,37	Geladeira	27,47	0,20
7	Sala de Curativos	2	0,50	140	14,06	0,37	-	-	-
8	Consultório Acolhimento 01	2	0,50	140	13,06	0,37	Computador + Impressora	35,20	0,20
10	Consultório Odonto	3	0,50	210	9,36	0,37	-	-	-
12	Inalação Coletiva	4	0,50	280	9,89	0,37	-	-	-
13	Consultório Acolhimento 02	2	0,50	140	14,06	0,37	Computador + Impressora	37,91	0,20
14	Recepção	18	0,50	1.260	8,05	0,37	Computador + Impressora + TV	18,24	0,20
15	Estocagem e Dispensação de medicamentos	1	0,50	70	9,14	0,37	Computador + Impressora	24,64	0,20
16	Consultório Acolhimento 03	2	0,50	140	13,06	0,37	Computador + Impressora	35,20	0,20

Legenda: Tempo de uso do equipamento: Durante período de uso da edificação 24 horas;

Para completar a configuração da simulação foram introduzidas as propriedades físicas dos materiais constituintes dos componentes paredes, pisos e teto. Como referência foi utilizado a Biblioteca de Materiais e Componentes Construtivos Brasileiros (WEBER et al., 2017), desenvolvida no Laboratório de Eficiência Energética (Labeee) da Universidade Federal de Santa Catarina, e a Norma NBR 15220-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), conforme tabela a seguir.

Tabela 2 Propriedades físicas e térmicas dos materiais de construção.

Componente Construtivo	Camada de Material	Espessura (cm)	λ - Condutividade Térmica (W/m°C)	ρ - Densidade (kg/m^3)	c - Calor Específico [KJ/(kg.K)]	Resistencia Térmica [m^2.C/W]
Parede de blocos Cerâmicos (9x19x19)	Argamassa Externa	2,50	1,15	2000	1,00	0,022
	Cerâmica	1,30	0,90	1600	0,92	0,014
	Câmara de ar	6,40	0,36	-	-	0,180
	Cerâmica	1,30	0,90	1600	1,00	0,014
	Argamassa Interna	2,50	1,15	2000	1,00	0,022
Laje	Concreto maciço	15	1,75	2200	1,00	0,0400
Cobertura	Telha Cerâmica	1,00	1,05	2000	0,92	0,0095
Piso	Piso Cerâmico	0,75	1,05	2000	0,92	0,0071
	Regularização	2,00	1,15	2000	1,00	0,0174
	Contrapiso	7,00	1,75	2200	1,00	0,0400
Portas	Tipo I: Madeira	3,50	0,23	675	1,34	0,1521
	Tipo II: Alumínio	0,10	2,30	2700	0,88	4,34e-6
Esquadrias	Tipo I: Vidro Comum 3mm	0,30	1,00	2500	0,84	0,003
	Tipo II: Vidro Temperado	1,00	1,00	2500	0,84	0,010

Para o presente estudo, a edificação será simulada na cidade do Rio de Janeiro – RJ, localizada na Zona Bioclimática Z8, conforme NBR 15220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). O arquivo de dados bioclimáticos que apresenta as variáveis ambientais externas para a cidade do Rio de Janeiro utilizado foi do tipo TRY – *Test Reference Year*, obtido pelo Aeroporto Internacional do Galeão, e disponibilizados pelo LABEEE (LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - LABEEE, 2005).

O período de uso da edificação ficou definido conforme instruções da Secretária de Saúde do Rio de Janeiro, o qual aponta que a maioria das unidades de UBS I na cidade funcionam das 7h às 18h, de segunda a sexta-feira. A fim de aumentar a calibração da simulação, tendo em vista que se trata da simulação de uma edificação em etapa de projeto, foi inserido o valor de temperatura média mensal do solo na cidade do Rio de Janeiro, conforme tabela 4 a seguir:

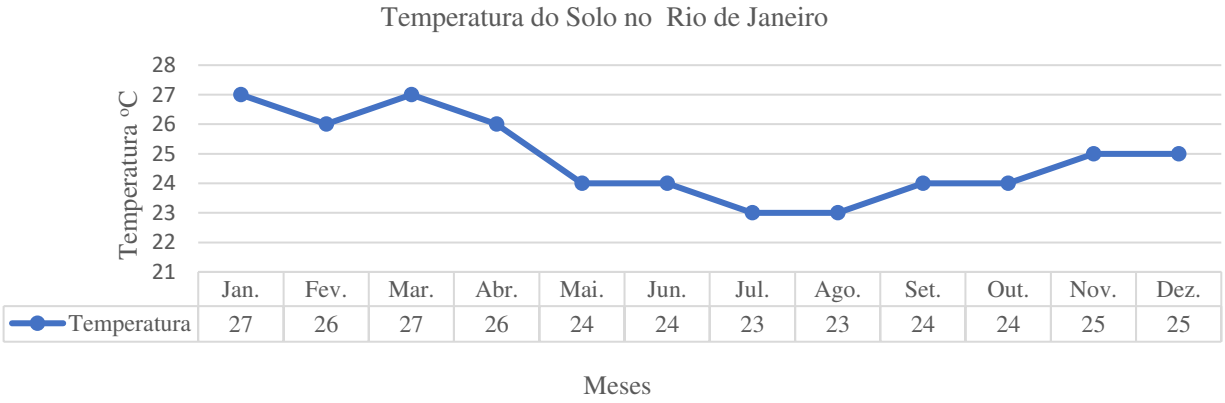


Figura 4 Valores de temperatura mensal do solo na cidade do Rio de Janeiro

Outro parâmetro importante adotado foi para a ativação e desativação do ar-condicionado (AC): Como regra para o *Energy Plus* a ativação do AC está associada as temperaturas internas superiores a 19º C, conforme NBR 15575-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), caso contrário o modelo entende que a ventilação natural é suficiente para auxiliar o conforto interno da edificação.

3.3. Dimensionamento do Sistema de SFCR:

O dimensionamento do SFCR foi realizado através do indicado no Manual de Engenharia para Sistemas fotovoltaicos (PINHO; GALDINO, 2014). O dimensionamento do gerador fotovoltaico leva em consideração o consumo médio diário anual da edificação (Wh/dia) descontado o valor da disponibilidade mínima de energia, que determinado pela Anael, o consumidor do grupo B (baixa tensão) é cobrado um valor mínimo. Essa taxa equivale ao consumo de 50kWh mensais.

De acordo com Pinho e Galdino, 2014 a potência do micro gerador que compõem o SFCR pode ser calculado seguindo a fórmula:

$$P_{FV}(W\rho) = \frac{E/_{TD}}{HSP_{MA}} (1) \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:

PFV (Wp) = Potência de pico do painel FV;
E (Wh/dia) = Consumo diário médio anual da edificação ou fração deste;
HSPMA (h) = Média diária anual das HSP incidente no plano do painel FV;
TD (adimensional) = Taxa de desempenho. Para SFCRs residenciais, bem ventilados e não sombreados, pode-se utilizar uma TD entre 70 e 80 %.

O valor das horas de sol pleno (HSP) para a cidade do Rio de Janeiro foi obtido na plataforma do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólicas Sérgio de S. Brito, que possui parceria com Ministério de Minas e Energia e a Eletrobras – Cepel (CRESESB, 2018), e foi definido como 4,81 Kwh/m^2 para o plano inclinado próximo à latitude da cidade, e dividido por 1 kWh/m² para obter o valor em horas, ou seja 5,20h.

Para o dimensionamento do inversor o fator de dimensionamento (FDI) representa a relação entre potência nominal do inversor e a potência de pico do gerador fotovoltaico, representado pela equação a seguir:

$$FDI = \frac{P_{NCA}(W)}{P_{FV}(Wp)} \qquad \text{Equação 2}$$

Onde:

FDI (adimensional) - Fator de dimensionamento do inversor;
PNca (W) - Potência nominal em corrente alternada do inversor;
PFV (Wp) - Potência pico do painel fotovoltaico.

Para determinar a quantidade de painéis fotovoltaicos será multiplicado a PFV pelo FDI e divididas pela P_m do painel escolhido, conforme equação a seguir:

$$N_p = \frac{P_{FV}\ x\ FDI}{P_m} \qquad \text{Equação 3}$$

Onde:

P_{FV} : Potência de pico do painel FV;
FDI: Fator de dimensionamento do inversor;
P_m : Potência Máxima do Painel;

Para evitar o sombreamento dos painéis quando simulados para atender a demanda total da edificação de energia, que para esse trabalho foram fixados em solo, as medidas mínimas adotadas para formação das *Strings* de painéis são baseadas na formula a seguir:

$$d = L\left[Cos\ inc + \frac{sen\ inc}{tg\ \beta}\right] \qquad \text{Equação 4}$$

Onde:

d: distância das *strings*;
L: Comprimento do painel;
$Cos\ inc$: Cosseno do ângulo de inclinação do painel;
Sem inc: Seno do ângulo do painel;
$tg\ \beta$: Tangente do ângulo do sol no dia 21 de junho em função da latitude do Rio de Janeiro;

4. RESULTADOS

Como resultado as simulações apresentam como relação de consumo da edificação padrão I da UBS um total de 84387.17 kWh no período de um ano. Sendo o sistema de equipamentos o maior responsável pelo consumo energético dentro da edificação, consumindo um total de 42.302,30 kWh. Em seguida, o sistema de Iluminação com 30.432,61 kWh. A seguir, o gráfico 2 apresenta a relação mensal do consumo de energia da edificação:

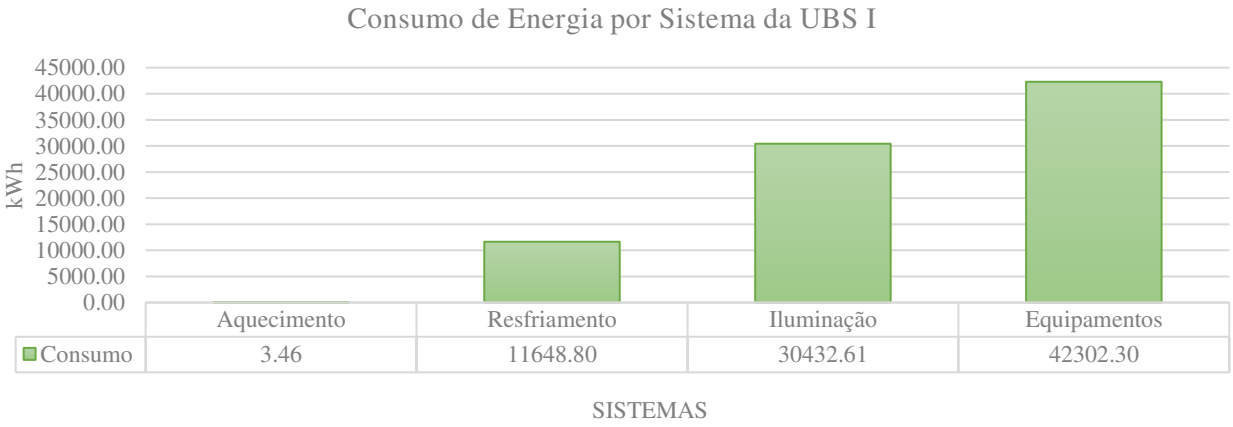
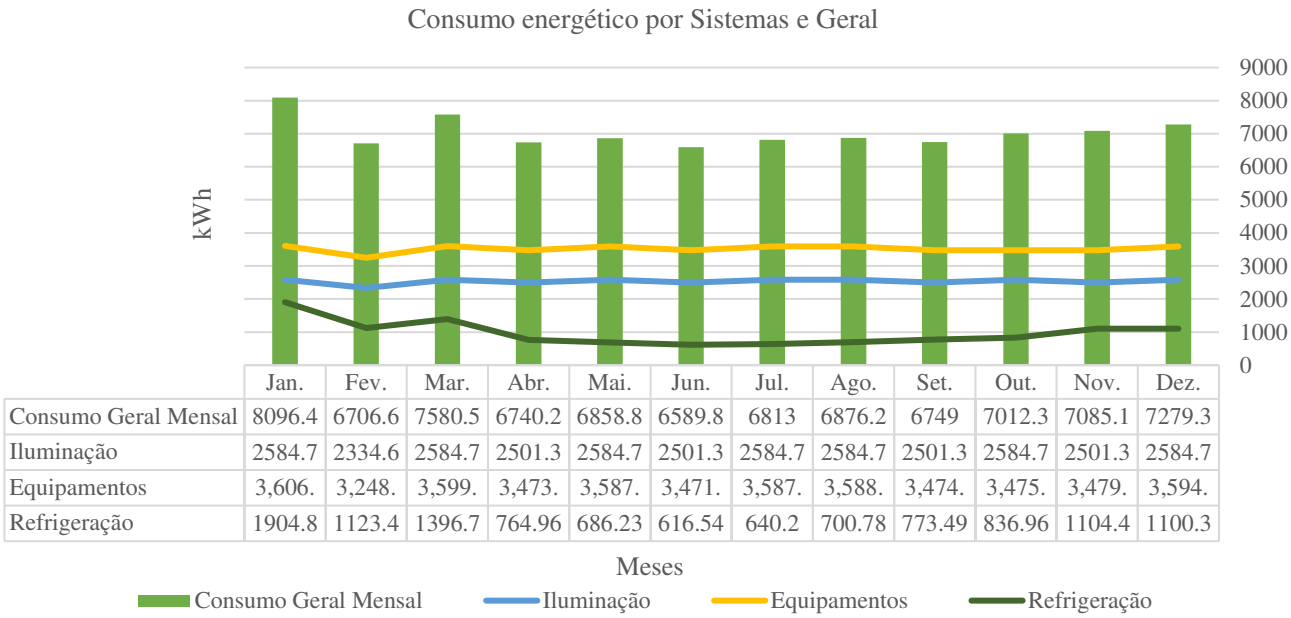


Figura 5 Consumo de energia por sistemas

No gráfico seguinte é possível observar o consumo a partir do panorama mensal, onde se compara o consumo total mensal e por sistemas. Através desse gráfico é possível observar que a redução observada nos meses de abril até setembro é fruto da possível diminuição do uso do sistema de refrigeração de ar, enquanto nesses mesmos meses o sistema de Iluminação e equipamentos permanecem sem grandes variações.



	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Consumo Geral Mensal	8096.4	6706.6	7580.5	6740.2	6858.8	6589.8	6813	6876.2	6749	7012.3	7085.1	7279.3
Iluminação	2584.7	2334.6	2584.7	2501.3	2584.7	2501.3	2584.7	2584.7	2501.3	2584.7	2501.3	2584.7
Equipamentos	3,606.	3,248.	3,599.	3,473.	3,587.	3,471.	3,587.	3,588.	3,474.	3,475.	3,479.	3,594.
Refrigeração	1904.8	1123.4	1396.7	764.96	686.23	616.54	640.2	700.78	773.49	836.96	1104.4	1100.3

Figura 6 Comparação do consumo por sistemas e do consumo geral mensal da UBS I.

Através das equações citas foram obtidos que para a produção da demanda total de energia seriam necessários 122 painéis, distribuídos e alocados em 2 *strings*, conforme figura 4A. Enquanto para a geração exclusiva na área do telhado foram possíveis a utilização de 44 painéis - conforme figura 4B -, os quais foram distribuídos em uma *string* única de forma a evitar sombreamento, dada que as medidas mínimas de distância não seriam possíveis. As características dos paineis adotados são apresentados na tabela 3:

Tabela 3 Especificações Técnicas e Dimensões

Especificações Técnicas			
Máxima Potência (Pm)	595 W	Dimensões do painel	2443 x 1134 x 35 mm
Tolerância	± 5 W	Código IP da caixa de junção	IP 68, 3 diodos
Voltagem de Máxima Potência (Vm)	43,62 V	Número de células e tipo	156 Silício Monocristalino (6x26)
Corrente de Máxima Potência (Im)	13,64 A	Peso do módulo	31kg
Voltagem de Circuito Aberto (Voc)	52,21 V	Vidro, tipo e espessura	Vidro de alta transparência de 32mm com liga de alumínio anodizado
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	14,63 A		
Voltagem Máxima do Sistema	1500V		
Eficiência do Painel	21,29%		

(A) (B)



Figura 7 Posicionamento das Strigs de painéis fotovoltaicos (Fonte: Autores)

Em relação a produção de energia pelo SFCR o resultado obtido está expresso no gráfico 4 a seguir. Por meio da análise do mesmo é possível observar que a produção total é suficiente para suprir a demanda de energia da UBS I na maioria dos meses, com exceção dos meses de maio a julho, onde apesar de se ter uma baixa no consumo de energia que se inicia em abril, a produção não é capaz de suprir a demanda nos citados meses. A partir de agosto a demanda já é novamente suprida.

Quando se examina a produção apenas sobre o telhado é possível observar que a produção não é capaz de suprir a demanda total em nenhum dos meses do ano, sendo a maior produção em Janeiro com 3.402,92 kWh produzidos, representando 42% do valor consumido neste mês. O menor mês em termos de produção é julho com apenas 1.841,31 kWh gerados, sendo apenas de 27,02% da demanda energética do mês de julho. A tabela 4 a seguir apresenta a porcentagem dos demais meses.

Tabela 4 Porcentagem da produção do telhado sobre o consumo de cada mês.

Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Porcentagem	42,03	48,23	39,19	39,10	30,90	30,10	27,02	38,88	35,33	40,23	40,34	42,94

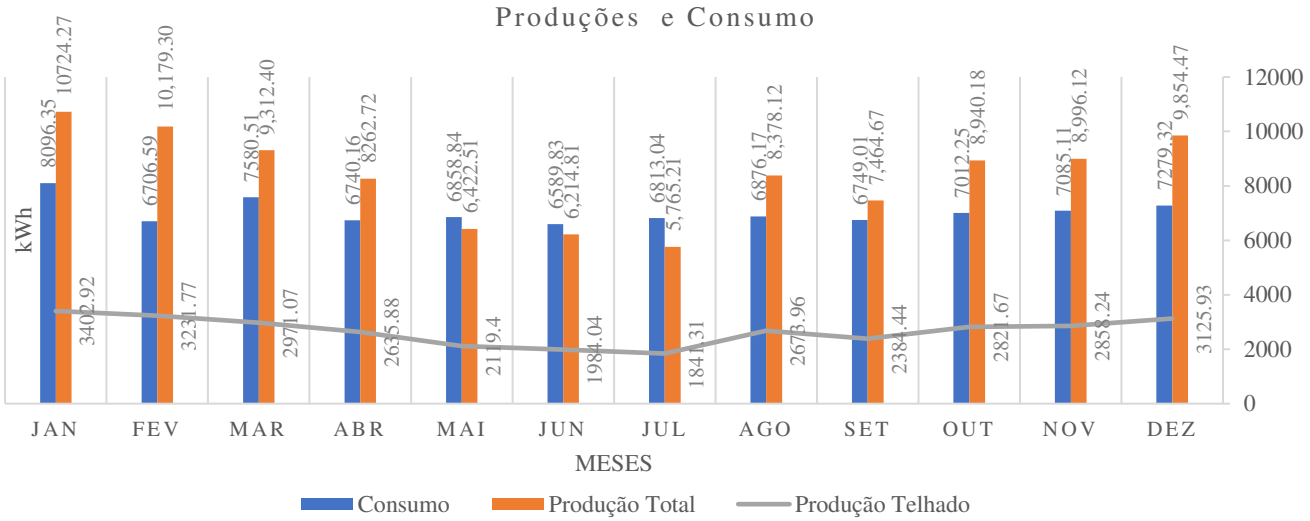


Figura 8 Produção total, produção sobre telhado e consumo.

5. CONCLUSÕES

Como conclusão é possível definir que o alto valor do consumo energético para a edificação UBS I na cidade do Rio de Janeiro se apresenta como um desafio à implementação de uma edificação NZEB no setor do atendimento primário na cidade. Entretanto, para a implementar o uso do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR), e colocar a saúde primaria como parte das políticas públicas adotadas pelos governos em busca de alcançar os ODSs traçados para o desenvolvimento da saúde, da indústria e a implementação de energias de fontes limpas é possível que se trace dois cenários possíveis para as UBS tipo I. O primeiro, com potencial de ser NZEB, se baseia na produção total da demanda da edificação, onde há a necessidade de implementar uma considerável estrutura externa para produção da energia, chegando a 720 m² de área contigua à edificação. Essa solução tem potencial de ser viável para as áreas periféricas da cidade do Rio de Janeiro, que podem dispor de mais áreas construtivas. A segunda solução, que é denominada nNZEB, é a produção apenas dentro do perímetro do telhado da UBS tipo I, onde a produção não possui capacidade de suprir toda a demanda, mas possui a capacidade de gerar margens próximas a consideráveis 30% na maioria dos meses do ano. Essa solução se adequa melhor para as áreas mais centrais da cidade do Rio de Janeiro, áreas essas que possuem pouca disponibilidade de espaço construtivo e alto valor comercial do terreno.

Para a evolução da eficiência da tipologia, pode-se destacar a necessidade de se desenvolver diretrizes que priorizem a aquisição de equipamentos e iluminação mais eficientes para o uso dentro das UBSs, tendo em vista que foram os sistemas que mais impactaram no consumo energético da edificação. Essas diretrizes podem compor parte efetiva do próprio programa de Requalificação das UBS, desenvolvido pelo ministério da saúde. Tornar essas diretrizes como parte indispensável para aprovação de solicitações dos recursos do programa de requalificação corrobora para a implementação dos objetivos do PBE-edifica e ODSs nos setores da saúde e infraestrutura. Dessa forma o programa de requalificação teria um impacto extenso para o avanço da eficiência energética no Brasil, tendo em vista sua grande dispersão em território nacional.

Para trabalhos futuros pretende-se considerar outras zonas bioclimáticas e análises considerando o tempo de retorno de investimento do SFCR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAEL. Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional Brasil, 2015.

ANVISA, AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. RDC n.50. Dispõe sobre o regulamento técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais à saúde. Brasil, 21 fev. 2002.

ASHRAE. **Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta.

ASHRAE. **Standards 55: thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2 - Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3 - desempenho térmico de edificações: parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1:Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro.

BRITISH PETROLEUM. **Country insight – Brazil**. 2022. Disponível em: https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook/country-and-regional-insights/brazil-insights.html. Acesso em: 5 dez. 2022.

CRESESB. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. 2018. Disponível em: http://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata. Acesso em: 22 mar. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Plano Nacional de Energia - PNE 2050Ministério de Minas e Energia**. Brasília, Brasil.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - LABEEE. **Arquivos climáticos em formato TRY, SWERA, CSV e BIN**. 2005. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/pt-br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin. Acesso em: 19 mar. 2023. MINISTÉRIO DA ECONOMIA. Portaria nº 42**Diário Oficial da União**, Brasil, 24 fev. 2021.

NAÇÕES UNIDAS. **ONU Brasil**. 2022. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br. Acesso em: 28 jul. 2022.

NIEHUNS ANTUNES, Lucas; GHISI, Enedir. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES: ATUALIZAÇÃO DO ESTADO DA ARTE. *Em*: XVI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO 2021, Palmas - TO. **Anais** [...]. Palmas - TO p. 1253–1262.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014.

U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Building Energy Software Tools Directory**. [s.d.]. Disponível em: http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/alpha_list.cfm. Acesso em: 19 mar. 2023.

VIRTA, M. et al. How to define nearly net zero energy buildings nZEB. **REHVA Journal**, *[S. l.]*, p. 6–12, 2011.

WEBER, F. S.; MELO, A. P.; MORINOSKI, D.; LAMBERTS, R. **Elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Núcleo de Pesquisa em Construção - Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2017. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/pt-br/node/714. Acesso em: 20 mar. 2023.