

GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO CONTEXTO DA ANÁLISE ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL PADRÃO NZEB PARA A CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Valéria Henrique Vitória – valeriavitória@id.uff.br

Gilberto Figueiredo – gilbertofigueiredo@id.uff.br

Marcelo Jasmim Meiriño – marcelojm@id.uff.br

Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói – RJ, Brasil

Resumo. As edificações representam uma parte significativa do consumo energético mundial. Uma proposta para minimizar esse consumo é a implementação de edificações com o conceito *Nearly Zero Energy Building* (nZEB). Este trabalho visa identificar a viabilidade técnica deste conceito segundo os padrões nacionais e as condições climáticas locais. A análise foi realizada com base em referências normativas atualizadas sobre o tema e com o uso de simulações energéticas através do aplicativo *EnergyPlus*, focando na envoltória da construção e tomando como base o projeto de uma edificação residencial unifamiliar localizada no Rio de Janeiro. Um modelo de referência foi contrastado com um modelo real com materiais disponíveis no mercado nacional de acordo com dois cenários: o primeiro apenas com o uso de ventilação natural e o segundo utilizando ventilação natural alternada com resfriamento artificial. Neste caso, o modelo real apresentou resultados 22% inferiores ao modelo de referência. Este modelo foi então associado a um fornecimento de energia solar fotovoltaica para aplicar um dos requisitos fundamentais de um nZEB: uso de fonte de energia renovável. A geração de energia foi obtida por meio dos três modelos de energia fotovoltaica existentes no aplicativo *EnergyPlus*. Os resultados apresentaram o forte potencial para a implementação do nZEB no Brasil.

Palavras-chave: nZEB, Análise energética, Geração fotovoltaica

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, mudanças no comportamento humano ocasionaram um aumento significativo no consumo de energia. Este consumo energético tem sido responsável por diferentes impactos ambientais e sociais. Devido a isso, o setor de energia tem sido cada vez mais destacado em pesquisas e novas políticas.

Atualmente, os edifícios são responsáveis por 37% das emissões globais de dióxido de carbono (CO_2) e 36% do consumo global de energia final. Em relação a essa demanda de energia, 22% estão em edifícios residenciais, 8% não residenciais (comércios e edifícios públicos) e 6% na indústria da construção (UNEP, 2021).

Com objetivo de minimizar o consumo de energia relacionado a construções residenciais, edificações tradicionais estão sendo analisadas de acordo com o conceito *Nearly Zero Energy Building* (nZEB). O modelo nZEB é definido pela União Europeia (UE) na Diretiva 2010/31/UE como a edificação com necessidades quase nulas de energia, de desempenho energético muito elevado, determinado com base na energia anual calculada ou efetivamente consumida. As necessidades quase nulas ou muito pequenas devem ser cobertas em grande parte por energia proveniente de fontes renováveis, produzida no local ou nas proximidades (Conselho da União Europeia, 2010).

Apesar de o padrão construtivo nZEB estar sendo implementado em muitos lugares ao redor do mundo, esse tipo de construção ainda não é comumente utilizado no Brasil. Este trabalho se propõe a fazer uma análise da viabilidade técnica de um nZEB no Brasil, por meio da simulação de desempenho energético de uma edificação, considerando as normas vigentes, além de sistemas construtivos acessíveis no mercado nacional e aplicação de geração fotovoltaica a partir de simulações computacionais.

A análise foi realizada utilizando a plataforma *EnergyPlus* (versão 8.7.0) com um modelo de projeto de uma edificação residencial localizada no Rio de Janeiro, sendo a avaliação concentrada na envoltória da edificação, com estudo de caso para um projeto de edificação unifamiliar. A partir da análise do consumo de energia estimado foi possível identificar se o sistema construtivo é adequado para um nZEB nas condições simuladas. A esta edificação de desempenho energético otimizado foi associado um fornecimento de energia renovável, no caso a solar fotovoltaica, para estimar o potencial de energia elétrica a ser gerada localmente para se obter um nZEB.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A Comissão Europeia não apenas estabeleceu o conceito *Nearly Zero Energy Building*, mas também especificou parâmetros de desempenho de edificações para diferentes zonas climáticas na UE. Na Recomendação 2016/1318, foi estabelecido que, no caso de países situados em climas quentes, como na zona do Mediterrâneo, as habitações unifamiliares novas deveriam se enquadrar no intervalo de 0-15 kWh/(m².ano) de energia primária. Apesar dos valores

se aplicarem a edificações situadas no continente europeu, essa região possui temperaturas médias próximas às do Rio de Janeiro, justificando sua utilização como parâmetro para este estudo (Comissão Europeia, 2016).

Uma organização de grande relevância que incluiu o conceito nZEB em uma de suas normas foi a Organização Internacional de Padronização (ISO). A ISO 52000:2017 – Desempenho Energético de Edifícios – destaca importantes requisitos a serem considerados para uma abordagem nZEB. O primeiro requisito se refere à avaliação de desempenho da construção, relacionada principalmente às escolhas de materiais na envoltória da edificação e uso de estratégias bioclimáticas. O segundo se refere ao desempenho dos sistemas da edificação (ventilação, resfriamento artificial, água quente e iluminação). O terceiro requisito é a avaliação da parcela de uso de energia não renovável em relação ao consumo total de energia. Nesta norma é sugerido que a geração de energia renovável atue como compensação ao uso de energia não renovável. Portanto, segundo tais fatores, o desempenho da construção e uso de energia renovável devem ser destacados para alcançar um nZEB (ISO, 2017).

As normas brasileiras ainda não abordam sobre nZEB, embora possíveis mudanças possam ser aguardadas nos próximos anos ao se observar que normas relacionadas ao desempenho de edificações vêm sendo revisadas. Ainda assim, é possível encontrar referências técnicas aplicadas a este tema que podem ser exploradas para a introdução deste conceito no contexto nacional de construção civil. A norma NBR 15.220: 2003 – Desempenho Térmico das Edificações - estabelece um zoneamento bioclimático para casas unifamiliares com oito diferentes zonas. A divisão é feita de acordo com a temperatura e condições de conforto térmico, ajudando na escolha de estratégias construtivas (ABNT, 2003).

Uma recente revisão de norma brasileira NBR 15.575-1: 2021 – Desempenho de edifícios residenciais - estabelece requisitos para construções eficientes e critérios de avaliação para análise energética, utilizando simulação computacional. Esta norma especifica considerações de ocorrência de cargas internas por meio da ocupação de usuários em ambientes de permanência prolongada (APP) e uso de iluminação artificial e equipamentos. O processo de análise energética da NBR 15.575-1: 2021 também especifica que é obrigatório a consideração do uso de ventilação natural. A avaliação se baseia em dois requisitos: porcentagem de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa ($PHFT_{UH}$) e temperatura operativa anual máxima entre os APP da unidade habitacional dentro do período de ocupação ($Tomax_{UH}$).

Na literatura brasileira existem estudos relacionados a aspectos da construção civil que podem ser aplicados ao conceito nZEB. Por exemplo, no estudo de Costa, Amorim e Silva (2020) foram simulados diversos cenários de edificações comerciais em Brasília e identificadas oportunidades para uma redução de consumo de energia de até 46% com uso de estratégias bioclimáticas. A associação desses dados com a produção de energia solar fotovoltaica apresentou um potencial positivo para alcançar a meta nZEB em edifícios comerciais de zonas climáticas semelhantes a Brasília. Além disso, no estudo de Resende, Monzón-Chavarrías e Corvacho (2020), três cidades localizadas em diferentes zonas climáticas brasileiras foram consideradas revelando números expressivos. Em cidades de climas frios, mudanças construtivas propostas alcançaram uma boa redução de consumo de energia, entre 60 a 80% relacionadas com aquecimento e resfriamento, enquanto em climas quentes, apresentou-se uma redução de 15% desse consumo. Este estudo mostrou que um balanço energético próximo de zero, adaptado a cada região, pode permitir a aplicação do conceito nZEB no Brasil. Ambas as pesquisas apresentaram dados relevantes de redução de energia, no entanto, algumas de suas referências normativas sofreram revisão e devido a isso devem ser atualizadas.

3. METODOLOGIA

Os requisitos das normas mencionadas foram considerados no projeto e na análise energética do estudo de caso apresentado neste trabalho. A construção residencial de modelo unifamiliar foi modelada em uma plataforma 3D e as suas informações foram importadas para o programa de análise energética. O consumo de energia obtido foi base para o projeto de geração de energia fotovoltaica. A simulação de geração de energia foi realizada para os três modelos de geração FV existentes no programa, resultando em um balanço energético representativo da edificação.

3.1 Modelagem 3D

O modelo utilizado representa uma construção residencial de padrão baixo, contendo dois dormitórios, dois banheiros, uma sala, uma cozinha e circulação. Para a análise energética, a edificação foi modelada em 3D no Sketchup (2017) utilizando como plug-in o *software* Euclid (9.3.0), conforme apresentado na Fig. 1.

De acordo com a categorização apresentada na NBR 15.220: 2003, por esta edificação estar localizada no Rio de Janeiro, ela pertence à zona bioclimática 8. Assim, todas as diretrizes construtivas para esta zona, como aberturas, sombreamento e outras, foram aplicadas a este modelo.

3.2 Modelagem energética

O modelo energético foi desenvolvido no *EnergyPlus* versão 8.7.0. Alguns dados foram importados automaticamente do modelo 3D, como superfícies da construção, janelas e sombreamentos. Os demais dados foram introduzidos manualmente no programa, como os padrões de ocupação, iluminação, equipamentos e propriedades físicas e térmicas dos materiais, como pode ser observado na Fig. 2. Os controles de aberturas e as camadas da edificação foram definidos de acordo com a NBR 15.575-1: 2021.

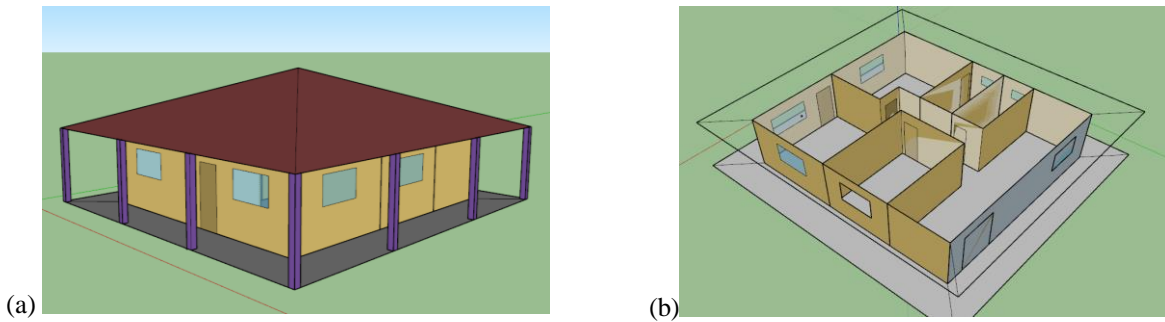


Figura 1- Modelagem 3D da edificação: (a) vista externa, (b) vista interna.

(a)

energy+.idd | EnergyPlus 8.7.0 | Ocupacao Dormitorios

(b)

energy+.idd | EnergyPlus 8.7.0 | Exterior Roof

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		Exterior Floor	Exterior Wall	Exterior Roof	Interior Wall
Layer 2		Radler Concreto 10cm	Argamassa M7da	TelhaCeramica	Argamassa
Layer 3			Tijolo 12cm		Tijolo 5cm
Layer 4			F04 Wall air space r		F04 Wall air
Layer 5			Tijolo 12cm		Tijolo 5cm
Layer 6			Argamassa M7da		Argamassa
Layer 7					
Layer 8					
Layer 9					
Layer 10					

(c)

energy+.idd | EnergyPlus 8.7.0 | Tijolo 9cm

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		Tijolo 9cm	Tijolo 12cm	TelhaCeramica	6676DF	A248BA
Roughness		Rough	Rough	MediumRough		
Thickness	m	0.045	0.06	0.01		
Conductivity	W/m-K	0.9	0.9	0.9		
Density	kg/m3	1600	1600	1600		
Specific Heat	J/kg-K	920	920	920		
Thermal Absorptance		0.95	0.95	0.95		
Solar Absorptance		0.8	0.8	0.8		
Visible Absorptance		0.8	0.8	0.8		

(d)

energy+.idd | EnergyPlus 8.7.0 | Ventilação Natural

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Surface Name		201863	942C23	C19F76	6676DF	A248BA
Leakage Component Name		Janela	Porta	Janela	Janela	Porta
External Node Name						
Window/Door Opening Factor, or Crack Factor	dimensionless	1	1	1	1	1
Ventilation Control Mode, or Crack Factor	Temperature	Constant	Medium	Temperature	Temperature	NoVent
Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule	TempSetPoint					
Minimum Venting Open Factor	dimensionless					
Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit	deltaC	100	100	100	100	100
Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit	deltaC					
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit For	deltaH/kg					
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit For	deltaH/kg	300000	300000	300000	300000	300000
Ventilation Availability Schedule Name		Ventilacao Dormitorio	Ventilacao Sala	Ventilacao Sala		
Occupant Ventilation Control Name						
Equivalent Rectangle Method	PolygonHeight	PolygonHeight	PolygonHeight	PolygonHeight	PolygonHeight	PolygonH
Equivalent Rectangle Aspect Ratio	dimensionless	1	1	1	1	1

Figura 2- Diferentes campos da modelagem energética no EnergyPlus: (a) programação compactada; (b) camadas da edificação; (c) materiais utilizados; (d) ventilação natural.

3.3 Modelo de Referência

A edificação de referência possui as propriedades térmicas especificadas na NBR 15.575-1: 2021 para ambientes de permanência prolongada. Neste caso, o modelo de referência (MR) possui paredes de blocos de concreto (9x19x39 cm), sem revestimento interno ou externo, totalizando transmitância térmica de 3,2 W/m²K; na cobertura a composição

é de laje maciça (10 cm), câmara de ar de 0,2167 m²K/W, isolamento térmico de 0,67 m²K/W e telha cerâmica, resultando em transmitância térmica total de 0,86 W/m²K ; e vidro comum de 3mm nas janelas.

3.4 Modelo real comparativo

O modelo de referência foi comparado a um modelo real com a seguinte composição: forro de PVC com espessura de 1 cm, câmara de ar maior que de 5 cm e telha cerâmica (modelo FPAT). Nas paredes, o modelo é composto por blocos cerâmicos (9x19x19 cm), 2,5 cm de argamassa em ambos os lados, e os mesmos 3 mm de vidro nas janelas. O resumo de suas especificações é apresentado na Tab. 1.

Tabela 1 – Composição do modelo FPAT

ELEMENTO	MATERIAL E ESPESSURA (cm)	PROPRIEDADES TÉRMICAS	
		Transmitância (W/m ² K)	Capacidade Térmica (kJ/m ² K)
Cobertura	Forro de PVC (1) + câmara de ar (>5) + telha cerâmica (1)	1,75	21
Parede	Bloco cerâmico (9) + argamassa interna e externa (2,5)	2,37	151
Vidro	Vidro (3) com F.S = 0,87	5,7	Não especificado

4. RESULTADOS

4.1 Ventilação Natural

Devido à obrigatoriedade de análise, a ventilação natural foi considerada com base nos dois critérios da NBR 15.575-1: 2021.

O primeiro critério está relacionado com a temperatura média anual de bulbo seco (23,5°C para o Rio de Janeiro) e faixa de temperatura operativa correspondente (18°C a 26°C). Foram coletados os dados de temperatura dos ambientes de permanência prolongada na simulação energética e com isso o $PHFT_{UH}$ foi calculado. O modelo FPAT obteve percentual acima de 90% ao do modelo de referência, atendendo ao critério de desempenho.

Observando a $Tomáx_{UH}$, a norma especifica que os valores dos modelos alternativos devem possuir temperatura inferior ao do modelo de referência, considerando uma tolerância de 2° Celsius para residências unifamiliares (tolerância aplicada à residência deste estudo de caso).

Sendo assim, podemos observar que o modelo FPAT atingiu uma temperatura anual máxima inferior a 37,90 °C, satisfazendo este critério de análise. Todos os dados de $PHFT_{UH}$ e $Tomáx_{UH}$ são apresentados na Tab. 2.

Tabela 2 – Resultados para Ventilação Natural

MODELO	$PHFT_{UH}$ (%)	$Tomáx_{UH}$
MR	60,46	35,90
LPAT	66,86	37,79

O modelo real FPAT apresentou um maior percentual de temperatura dentro da faixa operativa, no entanto, atingiu maiores temperaturas nos ambientes de permanência prolongada. Se relacionarmos as propriedades dos materiais descritos na Tab.1 com os resultados apresentados na Tab. 2, torna-se admissível fazer algumas avaliações que poderiam explicar esse fenômeno.

O modelo FPAT possui um maior valor de transmitância térmica em sua cobertura, ou seja, permite uma maior transferência de calor entre os meios externo e interno. Diante de altas temperaturas externas, a cobertura da edificação do modelo real FPAT atinge maiores temperaturas que são transferidas para o ambiente interno, resultando um $Tomáx_{UH}$ superior.

Por outro lado, os materiais indicados para modelo FPAT apresentam menores valores de capacidade térmica, ou seja, menor inércia térmica. Com essa característica, a combinação de tais materiais possui menor capacidade de absorver e armazenar calor. Isso é demonstrado na Fig. 3, que apresenta a variação de temperatura da cobertura da edificação e da temperatura externa de bulbo seco ao longo de um dia (adotado 01/janeiro) para os modelos MR e o FPAT.

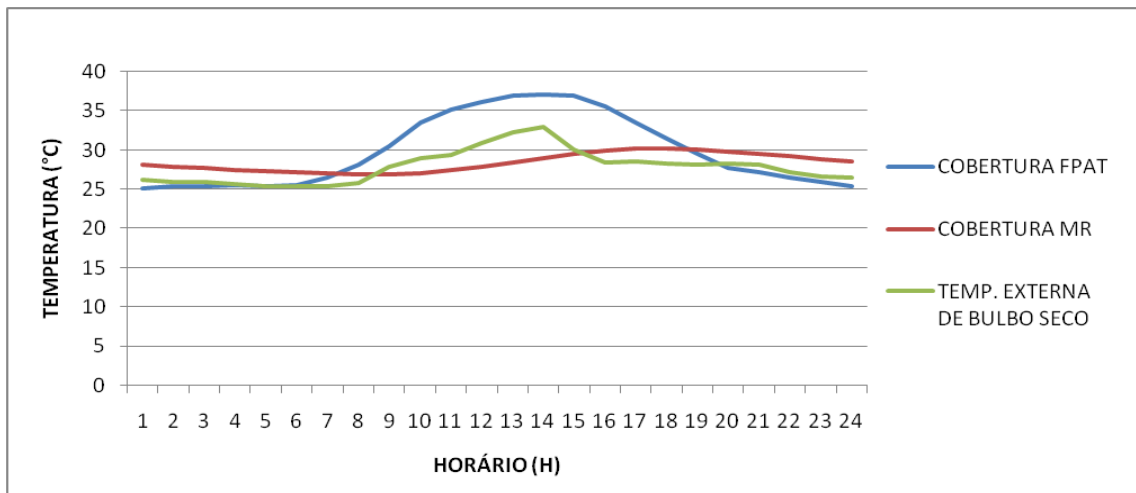


Figura 3- Temperatura externa e da cobertura dos modelos para dia característico (01/jan)

A edificação do modelo FPAT apresentou altas temperaturas na cobertura durante o dia, no entanto, esse calor é dissipado e no período noturno as temperaturas acumuladas no ático, e por consequência, transmitidas para o ambiente no período da noite, são inferiores. No modelo MR, a temperatura é absorvida ao longo do dia de maneira mais lenta, contudo é armazenada, mantendo temperaturas superiores no período noturno.

A variação de temperatura do modelo FPAT possui uma maior amplitude, entretanto, as médias mensais dos APP são, na maior parte do ano, inferiores ao modelo de referência, justificando o $PHFT_{UH}$ obtido na Tab. 2. As Fig. 4 e 5 apresentam as médias mensais dos dois modelos obtidas nas simulações para os APPs, sendo estes a sala e os quartos, considerando a disposição das aberturas (janelas e portas) especificada na NBR 15.575:2021.

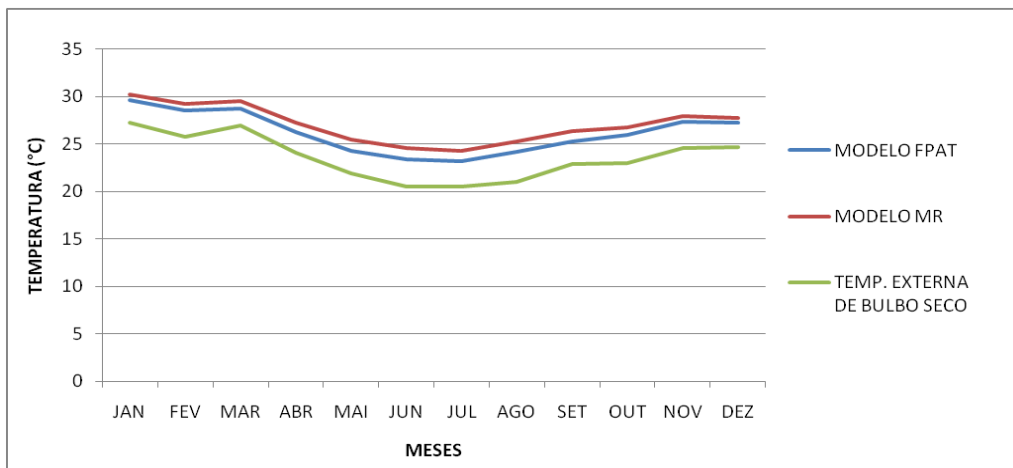


Figura 4- Temperaturas médias mensais para a sala

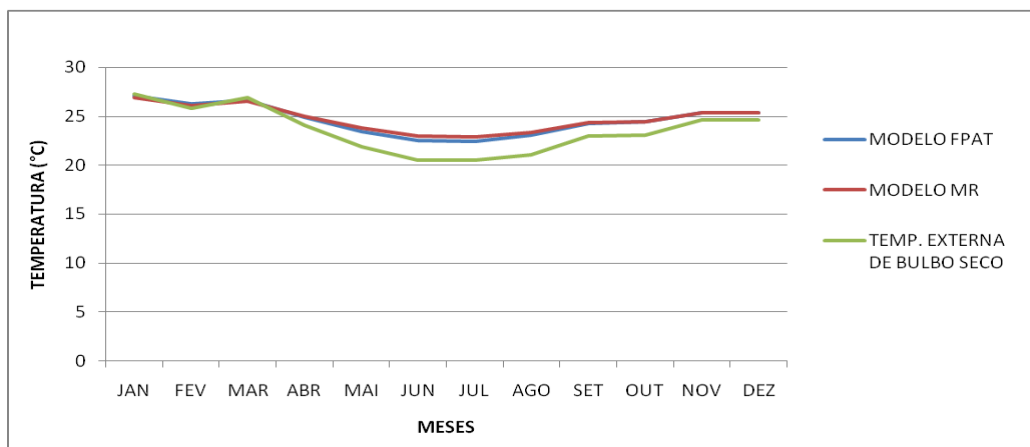


Figura 5- Temperaturas médias mensais para os quartos

De acordo com os critérios apresentados na NBR 15.575:2021, o modelo real apresentou temperaturas confortáveis na maior parte do ano, obtendo um desempenho térmico aceitável utilizando apenas ventilação natural. No entanto, para efeito de estudo energético da edificação visando o conforto térmico dos usuários, a edificação foi analisada fazendo uso de ventilação natural durante o dia e resfriamento artificial nos quartos à noite, das 22h às 8h.

4.2 Ventilação Natural e Resfriamento Artificial

A simulação permitiu identificar o consumo anual de energia de ambos os modelos, como pode ser observado na Tab. 3. O consumo do modelo FPAT foi 22% inferior ao do modelo de referência.

Tabela 3 – Consumo anual de energia elétrica

Modelo	Consumo Anual Total (kWh)	Consumo Anual Total por Área (kWh/m ²)
MR	2922,58	9,62
FPAT	2285,99	7,52

Ao observar os dados de uso final de energia por setor apresentados na Fig. 6, é possível identificar que essa diferença esteve diretamente relacionada a fatores de resfriamento do ambiente.

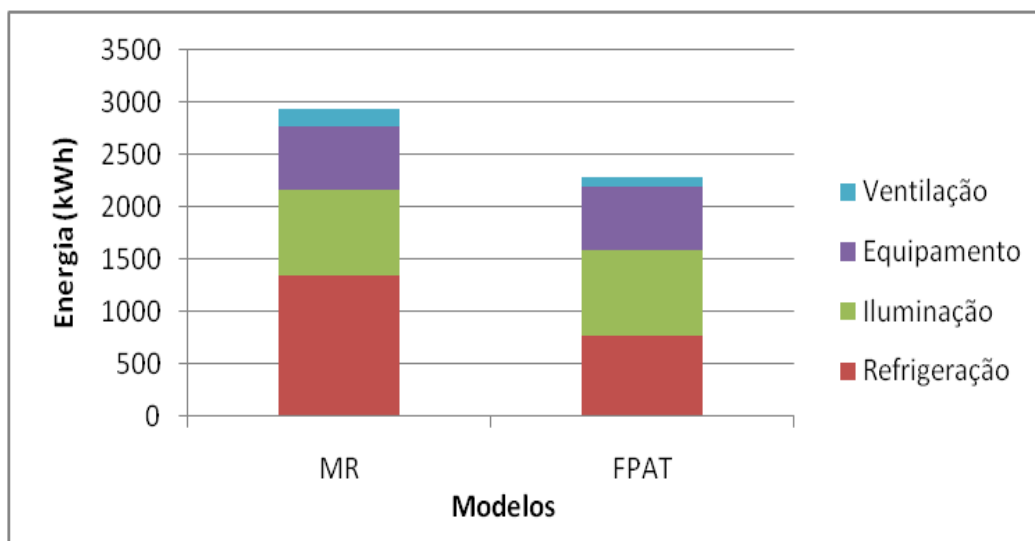


Figura 6- Uso final de energia elétrica

Essa diferença de consumo pode ser justificada pelas variações de temperatura alcançadas ao longo do ano, associadas à escolha do ambiente e horário que fez uso de resfriamento artificial.

Assim como foi apresentado na Fig. 3, devido às propriedades físicas e térmicas dos materiais, existem horários em que a cobertura do modelo FPAT possui temperaturas mais baixas que o modelo MR. Este período coincidiu com o horário em que a simulação fez uso de resfriamento artificial. Como consequência, a diferença térmica entre os modelos resultou em uma significativa diferença no consumo de energia da edificação.

Em vista disso, o uso de materiais de menor inércia térmica se tornou benéfico neste estudo de caso, pois as temperaturas do Rio de Janeiro são altas no período diurno. Assim, o modelo estudado com materiais na cobertura que absorvem menos calor ao longo do dia e, por consequência, possuem menos calor a ser liberado à noite, foi o modelo que apresentou o menor consumo de energia para equilibrar a temperatura do ambiente.

Essa análise pôde então evidenciar que a escolha de materiais da envoltória afeta diretamente o conforto térmico do usuário e, consequentemente, o consumo de energia total da edificação. Além disso, foi possível observar que o uso de uma estratégia bioclimática deve ser bem analisado, pensando tanto no comportamento característico do usuário, como também no local em que essa estratégia será aplicada, e considerando se será preciso que esteja associada a outras estratégias para obter o desempenho desejado ao longo de todo o ano.

4.3 Energia solar fotovoltaica

A partir do consumo anual total de energia elétrica obtido nas simulações para o modelo FPAT, a análise de fornecimento de energia renovável foi realizada. Devido às boas condições de geração de energia solar no Brasil, foi proposto um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (Rüther e Salomoni, 2011). Adotou-se um sistema de 1 kW de interface, com a rede para ser agregado como microgeração distribuída compatível com o perfil de consumo de unidades consumidoras unifamiliares, usualmente com ramais de atendimento mono ou bifásico. O gerador, composto por quatro módulos fotovoltaicos de 290 W nominais cada, foi estrategicamente aplicado na ala norte da cobertura da edificação, cuja inclinação é de 23° C, conforme apresentado na Fig. 7.

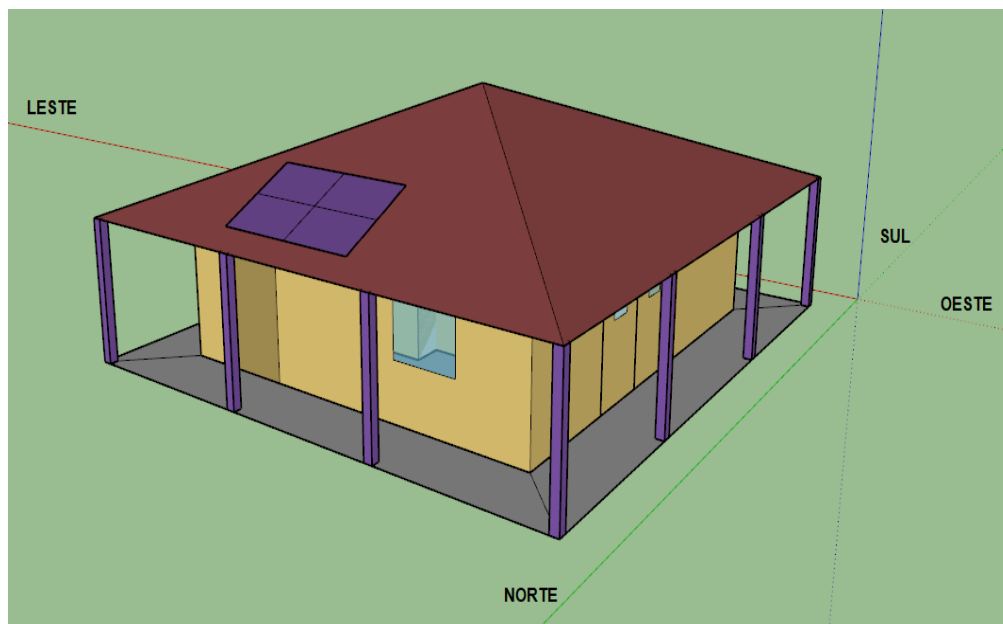


Figura 7- Projeção do sistema fotovoltaico conectado à rede na edificação

A simulação de geração de energia fotovoltaica foi realizada no *EnergyPlus*, seguindo os três possíveis modelos para determinar a produção de energia: o simples, o de 4 parâmetros (um diodo) e o Sandia. O primeiro permite que o usuário insira uma eficiência de conversão constante, podendo ser obtida na documentação técnica dos fabricantes, e declare a área ativa de células FV em uma determinada superfície do modelo. Os outros dois modelos requerem parametrizações específicas de variáveis elétricas e térmicas, além da configuração de conexão dos módulos FV.

Para o modelo simples foi declarado 17,7% como eficiência de conversão FV e 97% para a eficiência de conversão c.c./c.a. No caso dos outros modelos de geração fotovoltaica, o gerador foi configurado como a associação série de 4 módulos FV LG 290 NIC-G3, cujos parâmetros foram obtidos nos dados técnicos do fabricante. Adicionalmente, nos dois últimos cenários de simulação, o inversor foi modelado através da eficiência de conversão em função do carregamento para o modelo GW 1000-XS, cujos parâmetros foram obtidos nos dados técnicos do fabricante. Os dados mensais de energia gerada são explicitados na Fig. 8 para os modelos simulados, além dos valores percentuais em relação ao modelo simples. Os valores totais e a produtividade (Y_F) dos sistemas são apresentados na Tab. 4.

Os modelos retornaram uma estimativa energética com valores anuais no intervalo de 1600-1800 kWh. Dessa forma, a produtividade (Y_F) do sistema com os quatro módulos de 290 W esteve em torno de 1500 kWh/kW. Esse resultado é condizente com a produtividade média anual para a região. No entanto, a simulação não considerou todos os cenários de perdas elétricas na instalação e perdas térmicas que ocorrem em um sistema energético, podendo os modelos serem ajustados para maior assertividade dos resultados da simulação.

Tabela 4 – Valores totais de Geração de Energia EnergyPlus (kWh)

	SIMPLES	UM DIODO	SANDIA
Geração Anual Total	1768,56	1698,81	1739,34
Y_F	1524,62	1499,43	1464,49

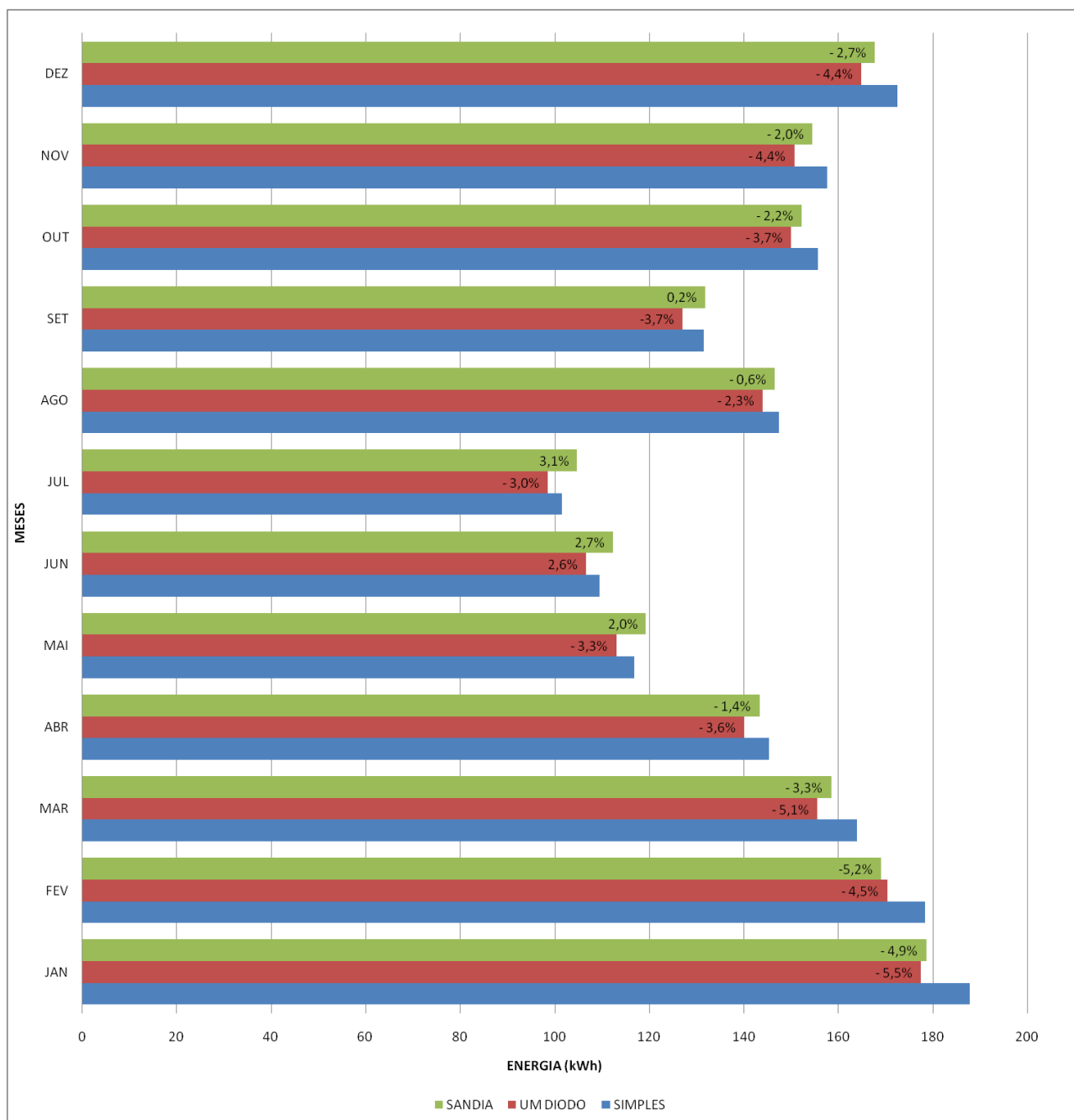


Figura 8- Comparativo de valores mensais de Geração de Energia EnergyPlus (kWh) em relação ao modelo Simples

4.4 Balanço energético

Com a simulação de consumo e geração de energia no *EnergyPlus*, foi possível realizar um balanço energético da edificação, apresentado na Fig. 9. Nela são apresentados os valores mensais de energia para o consumo da edificação e a média da produção mensal entre os modelos de geração fotovoltaica simulados. Os dados obtidos para a energia mensal gerada foram majoritariamente inferiores à estimativa de consumo de energia, apresentando um balanço negativo de, em média, 550 kWh no ano. Dessa forma, o sistema estimado possui capacidade de gerar energia renovável para cobrir a maior parte das necessidades de energia elétrica da edificação, atendendo ao último requisito para um nZEB.

Além disso, esse consumo não coberto pelo sistema fotovoltaico conectado à rede pode ser vantajoso para o usuário da edificação, uma vez que é condizente com a energia referente ao custo de disponibilidade correspondente ao padrão de conexão bifásico, no caso 50 kWh/mês.

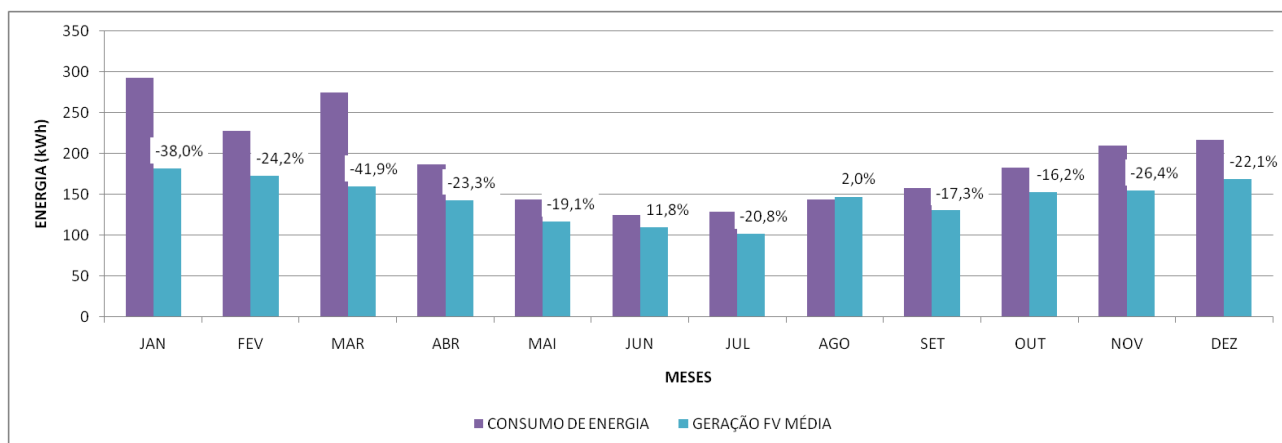


Figura 9 - Balanço energético entre o consumo e a geração fotovoltaica média dos três modelos apresentados

5. CONCLUSÃO

O presente estudo buscou explorar a viabilidade técnica com a aplicação de ações mínimas para obter um nZEB em uma edificação residencial, baseado no contexto atual das referências normativas brasileiras e nos materiais disponíveis no mercado. Observando o desempenho termoenergético dos materiais, um ponto importante a destacar é que a escolha dos mesmos possui um grande impacto no consumo de energia elétrica total e deve ser cuidadosamente analisada na fase de pré-projeto.

O uso da estratégia bioclimática de ventilação natural, em regiões com condições climáticas similares às do Rio de Janeiro, pode prover conforto ao ambiente na maior parte do ano. Além disso, mesmo utilizando resfriamento artificial em partes do dia, os dados de consumo ainda são aceitáveis, com valores de consumo anual de energia por área abaixo de 15 kWh/m², que é a margem de consumo para países de regiões quentes da UE. Isso significa que os sistemas construtivos brasileiros possuem um potencial promissor considerando as condições climáticas locais.

A avaliação de outras estratégias de arquitetura passiva, considerações de escolha de sistemas mecânicos, estudo de outras fontes de energia renovável, pesquisas sobre o efeito da distribuição de temperatura em áreas urbanas com influência de microclima, e uma investigação da viabilidade econômica do projeto são aspectos necessários para afirmar o sucesso do conceito nZEB no Brasil e podem ser temas de estudos futuros.

Para considerar um aspecto primordial do nZEB, o uso de energia renovável, foi demonstrado que edificações localizadas no Rio de Janeiro possuem disponibilidade de recursos para se produzir energia renovável compatível com a demanda de uma edificação residencial de padrão baixo, utilizando um sistema fotovoltaico conectado à rede de pequeno porte. E, nesse aspecto, a estimativa de geração de energia por meio de simulação computacional realizada nos três modelos presentes no EnergyPlus apresentaram resultados representativos do potencial da geração fotovoltaica em atender às necessidades de um nZEB com o mínimo de potência instalada.

Analisando os aspectos técnicos envolvidos neste trabalho, é possível afirmar que, se medidas energéticas forem consideradas no projeto da edificação, as tecnologias construtivas existentes vinculadas ao fornecimento de energia renovável fotovoltaica podem apresentar resultados de desempenho energético atrativos e, assim, permitir a aplicação do conceito nZEB no Brasil.

REFERÊNCIAS

- ABNT 2003. NBR 15220 – Desempenho Térmico de edificações.
- ABNT, 2021. NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho.
- Conselho da União Europeia, 2010. Directiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Jornal Oficial da União Europeia, v. 153, p. 18.
- Comissão Europeia, 2016. RECOMENDAÇÃO (UE) 2016/1318 da Comissão de 29 de julho de 2016, relativa às orientações para a promoção de edifícios com necessidades quase nulas de energia e das melhores práticas para assegurar que, até 2020, todos os edifícios novos tenham necessidades quase nulas de energia. Jornal Oficial da União Europeia, v. 208, p. 46-57.
- Costa, W., Amorim, C., Silva, J., 2020. Diretrizes de retrofit para obtenção de edificações com energia zero líquida para edifícios de escritórios em Brasília. Journal of Building Engineering, v. 32, 101680.
- Resende, J., Monzón-Chavarrías, M., Corvacho, H, 2020. A aplicabilidade de edifícios residenciais de zero ou quase zero necessidades de energia no Brasil – estudo de edificação de padrão baixo de três diferentes zonas climáticas brasileiras. Indoor and Built Environment, OnlineFirst v.1.
- Rüther, R., Salamoni, I, 2011. O potencial dos setores urbanos brasileiros para a geração de energia solar fotovoltaica integrada a edifícios. Fórum Patrimônio, v. 4(1).

ISO, 2017. ISO 52000-1 (H) – Desempenho energético de edifícios – Avaliação abrangente EPB – parte 1: estrutura geral e procedimentos.

UNEP, 2021. Relatório de status global de 2021 para edifícios e construção: em direção a um setor de edificações com zero emissões, eficientes e construções resilientes.

PHOTOVOLTAIC ENERGY GENERATION IN THE CONTEXT OF THE ENERGY ANALYSIS OF A NZEB STANDARD RESIDENTIAL BUILDING IN RIO DE JANEIRO

Abstract. *Buildings represent a significant part of the world's energy consumption. A proposal to minimize this consumption is the implementation of buildings with the Nearly Zero Energy Building concepts. This research aims to identify the technical feasibility of this concept according to national standards and climatic conditions. The analysis was performed under the most up-to-date normative references about this subject and through computational energy simulation via EnergyPlus software, focusing on the building envelope model of a residential building in Rio de Janeiro. A reference model was contrasted with a real model with available materials in the national market according to two scenarios: firstly, in terms of natural ventilation only, and then using natural ventilation alternating with artificial cooling. In this case, the real model presented results 22% lower than the reference model. This model was then associated with a supply of solar photovoltaic energy in order to apply one of the fundamental requirements of nZEB: the use of renewable energy sources. The energy generation was performed using the three existing photovoltaic energy models in the EnergyPlus software. The results show the potential for nZEB implementation in Brazil.*

Key words: *nZEB, Energy analysis, Renewable energy*