

HABITAÇÕES SUSTENTÁVEIS CONSTRUÍDAS A PARTIR DE CONTAINERS COM APLICAÇÃO DE FONTES RENOVÁVEIS PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

Frederico Coutinho Guimarães Cotia (1) Cícero Furtado de Mendonça Lopes (2)

Armando Carlos de Pina Filho (3) Franklin Soares Iriarte (4)

(1) Programa de Engenharia Urbana - PEU, Escola Politécnica, UFRJ, Brasil.

E-mail: <fredcotia@poli.ufrj.br>.

(2) Programa de Engenharia Urbana - PEU, Escola Politécnica, UFRJ, Brasil.

E-mail: <cfm_lopes@poli.ufrj.br>.

(3) Programa de Engenharia Urbana - PEU, Escola Politécnica, UFRJ, Brasil.

E-mail: <armando@poli.ufrj.br>.

(4) Programa de Engenharia Urbana - PEU, Escola Politécnica, UFRJ, Brasil.

E-mail: <fsoaresi@poli.ufrj.br>.

RESUMO

O presente trabalho visa avaliar a viabilidade de geração de eletricidade a partir de fontes renováveis em habitações sustentáveis construídas a partir de containers. Para tanto, parâmetros importantes serão apresentados para escolha da instalação ou não da tecnologia solar ou eólica. Para a habitação, três cenários serão apresentados para a envoltória dos containers: sem isolamento, isolamento nas fachadas norte e oeste e, por fim, isolamento em todas as fachadas. A maior variante entre os cenários será o consumo para condicionamento dos ambientes internos. A partir deste estudo, será apresentada a quantidade de eletricidade atendida por painéis fotovoltaicos e, caso haja possibilidade de instalação, por aerogeradores. Além da redução no consumo de eletricidade gerada por meios convencionais, a redução de CO₂ injetado na atmosfera pelo uso de termoelétricas representa uma grande motivação para escolha das tecnologias solar e eólica.

Palavras-chave: Eficiência energética. Fontes renováveis. Geração de eletricidade. Habitação.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, nos últimos anos, tem investido grande quantidade de recursos em programas habitacionais destinados à moradia popular, como o programa Minha Casa Minha Vida (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2015). Na concepção desses projetos não são utilizadas ferramentas que avaliem o conforto térmico das habitações, tampouco a quantidade de energia racionalizada caso fossem utilizados geradores eólicos e painéis solares para geração de eletricidade. Como a maioria da população acaba utilizando aparelhos condi-

cionadores de ar para combater as altas temperaturas, tem-se como resultado um acréscimo de consumo de energia elétrica de cada habitação, o que onera a rede de energia elétrica nos momentos de pico do sistema, podendo levar ao popularmente conhecido “apagão”.

Diante dessa situação, o presente trabalho tem foco num empreendimento habitacional de construção rápida, com pouco desperdício, sustentável, onde grande parte da energia gerada para supri-lo seja de fontes renováveis. Sendo assim, pretende-se analisar a eficiência energética de containers revertidos em habitações sustentáveis (Figura 1), usando a geração solar fotovoltaica

para suprimento parcial da energia elétrica consumida pelo empreendimento.

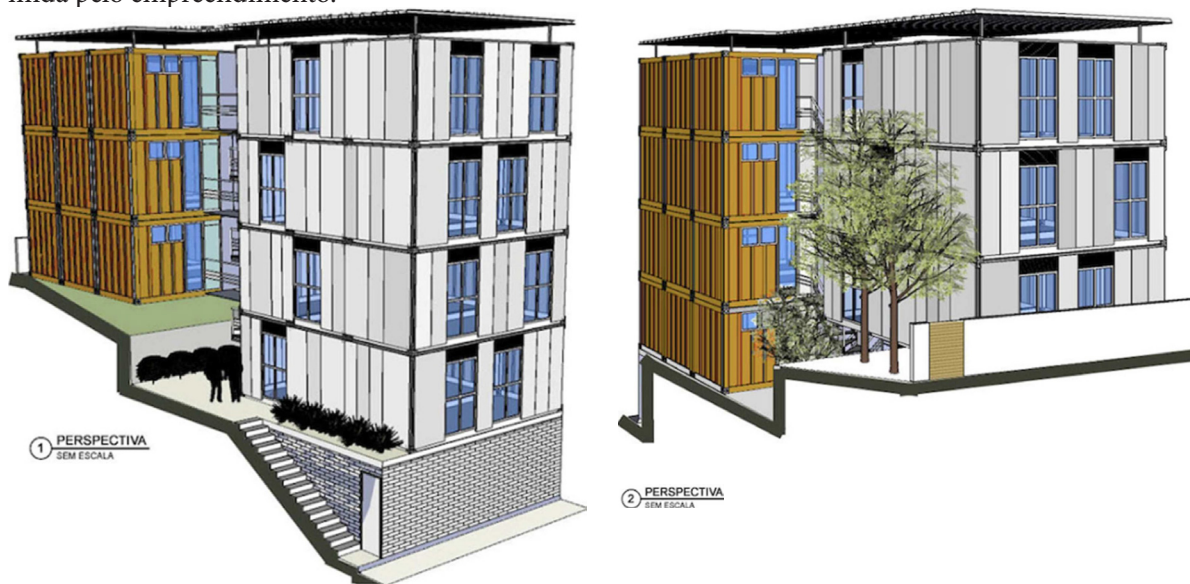


Figura 1 - Bloco de residências construídas a partir de containers.

Fonte: Criado pelos Autores usando o software Designbuilder.

2 CARACTERÍSTICAS DAS HABITAÇÕES

Para compor o empreendimento habitacional foram utilizados containers de 7,4m x 12m x 2,6m, fabricados em aço com 4mm de espessura nas paredes. Os containers foram dispostos em 4 andares, totalizando 7 módulos, sendo que cada módulo é constituído por um container, que comporta 2 apartamentos. A área de cada apartamento é de 44,5 m² divididos em 2 quartos, uma sala com cozinha americana e um banheiro. A Figura 2 apresenta a disposição dos cômodos em cada container.

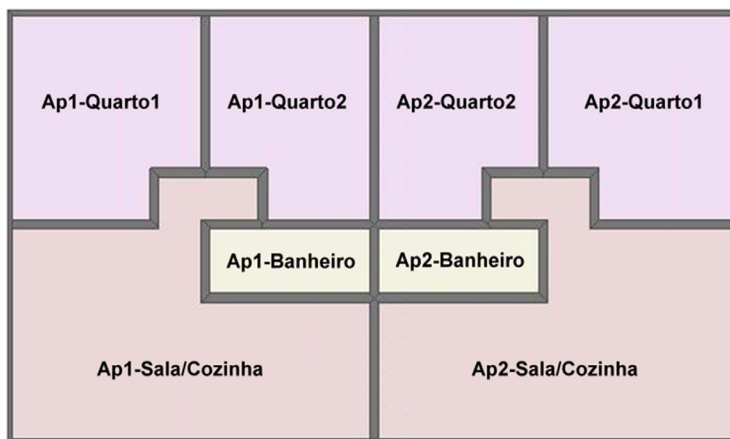


Figura 2 - Planta baixa (simplificada) de cada container. Fonte: Criado pelos Autores usando o software Designbuilder.

3 SIMULAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS HABITAÇÕES

Os containers foram analisados quanto à eficiência energética em 3 cenários diferentes, denominados: caso 1, caso 2 e caso 3. Para a simulação do consumo mensal e anual em kWh de cada caso, foi utilizado o programa Energyplus v8.3, com dados de entrada referentes à ocupação, iluminação, equipamentos, sistemas construtivos, e sistema de condicionamento do ar. Os dados inseridos seguem as recomendações do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), desenvolvido pelo INMETRO para certificação de edificações residenciais, de acordo com o Programa Brasileiro de Etiquetagem Edifica (PBE Edifica).

3.1 SIMULAÇÃO PARA O CASO 1

No caso 1 considera-se o uso de cada container sem nenhum tipo de revestimento térmico nas fachadas, ou seja, ele será utilizado na sua

forma bruta de construção, com as paredes de aço expostas à radiação solar incidente. Nesse caso, tem-se o gasto mensal e anual simulado de acordo com a Tabela 1.

Mês	Iluminação [kWh]	Equipamentos [kWh]	Ar condicionado ventilador [kWh]	Ar condicionado resfriamento [kWh]	Total [kWh]
Janeiro	454,76	435,74	148,89	1351,02	2390,41
Fevereiro	410,3	392,94	146,14	1327,67	2277,05
Março	451,3	430,84	129,27	1170,49	2181,9
Abril	444,56	428	94,28	842,5	1809,34
Mai	451,3	430,84	111,26	399,55	1392,95
Junho	437,63	418,21	112,74	120,49	1089,07
Julho	458,22	440,63	207,47	152,25	1258,57
Agosto	451,3	430,84	99,98	336,79	1318,91
Setembro	441,1	423,1	143,78	289,23	1297,21
Outubro	454,76	435,74	80,77	544,71	1515,98
Novembro	437,63	418,21	84,98	737,12	1677,94
Dezembro	458,22	440,63	118,72	1061,52	2079,09
Total	5351,09	5125,79	1478,3	8333,34	20288,45

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica para o caso 1: sem isolamento.

Fonte: Simulação usando o software Energyplus.

3.2 SIMULAÇÃO PARA O CASO 2

No caso 2 considera-se que o container é revestido parcialmente com material isolante térmico. As fachadas norte e oeste foram revestidas

com uma placa cimentícia mais aço, mais fibra de vidro, mais placa de gesso, que resulta em uma nova espessura das paredes mencionadas para 7cm. Nesse caso, tem-se o gasto mensal e anual simulado de acordo com a Tabela 2.

Janeiro	454,76	435,74	182,36	1582,32	2655,18
Fevereiro	410,3	392,94	174,35	1516,32	2493,91
Março	451,3	430,84	161,49	1396,59	2440,22
Abril	444,56	428	125,97	1077,56	2076,09
Mai	451,3	430,84	101,91	619,17	1603,22
Junho	437,63	418,21	79,46	302,18	1237,48
Julho	458,22	440,63	146,8	315,65	1361,3
Agosto	451,3	430,84	92,91	559,31	1534,36
Setembro	441,1	423,1	114,8	483,65	1462,65
Outubro	454,76	435,74	100,61	785,81	1776,92
Novembro	437,63	418,21	118,88	1000,18	1974,9
Dezembro	458,22	440,63	153,95	1316,96	2369,76
Total	5351,09	5125,72	1553,49	10955,7	22986

Tabela 2 – Consumo de energia elétrica para o caso 2: isolamento nas fachadas norte e oeste.

Fonte: Simulação usando o software Energyplus.

3.3 SIMULAÇÃO PARA O CASO 3

No caso 3 considera-se que o container utilizado será totalmente revestido, ou seja, todas as paredes em todas as fachadas possuem revesti-

mento. Este revestimento consiste dos mesmos materiais usados no caso 2, resultando em uma espessura das paredes para 7cm. Nesse caso, tem-se o gasto mensal e anual simulado de acordo com a Tabela 3.

Janeiro	454,76	435,74	226,54	1895,48	3012,52
Fevereiro	410,3	392,94	211,39	1773,21	2787,84
Março	451,3	430,84	205,21	1710,87	2798,22
Abril	444,56	428	170,6	1406,22	2449,38
Mai	451,3	430,84	119,42	957,44	1959
Junho	437,63	418,21	79,86	618,27	1553,97
Julho	458,22	440,63	80	611,05	1589,9
Agosto	451,3	430,84	114,7	902,76	1899,6
Setembro	441,1	423,1	101,81	802,68	1768,69
Outubro	454,76	435,74	139,32	1119,58	2149,4
Novembro	437,63	418,21	164,51	1335,59	2355,94
Dezembro	458,22	440,63	200,95	1656,66	2756,46
Total	5251,09	5125,72	1814,34	14789,93	27080,95

Tabela 3 – Consumo de energia elétrica para o caso 3: isolamento em todas as fachadas.

Fonte: Simulação usando o software Energyplus.

3.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS TRÊS CASOS

A comparação do gasto de energia elétrica mensal e anual entre os três casos pro-

postos é apresentada na Tabela 4. É possível observar que o consumo de energia elétrica é maior no caso 3, em que todas as fachadas são revestidas.

Mês	Caso 1 (kWh)	Caso 2 (kWh)	Caso 3 (kWh)
Janeiro	2390,41	2655,18	3012,52
Fevereiro	2277,05	2493,91	2787,84
Março	2181,9	2440,22	2798,22
Abril	1809,34	2076,09	2449,38
Mai	1392,95	1603,22	1959
Junho	1089,07	1237,48	1553,97
Julho	1258,57	1361,3	1589,9
Agosto	1318,91	1534,36	1899,6
Setembro	1297,21	1462,65	1768,69
Outubro	1515,98	1776,92	2149,4
Novembro	1677,94	1974,9	2355,94
Dezembro	2079,09	2369,76	2756,46
Total	20288,42	22985,99	27080,92

Tabela 4 – Consumo de energia elétrica mensal e anual nos três casos.

Fonte: Simulação usando o software Energyplus.

A Figura 3 apresenta o gasto de energia elétrica anual por setor, onde é possível observar que o setor de maior influência no consumo de energia das habitações foi o condicionamento de ar. O

caso 1 foi o que se apresentou como o mais satisfatório do ponto de vista da eficiência energética, visto que possui o menor gasto energético em todos os meses, tanto no verão quanto no inverno.

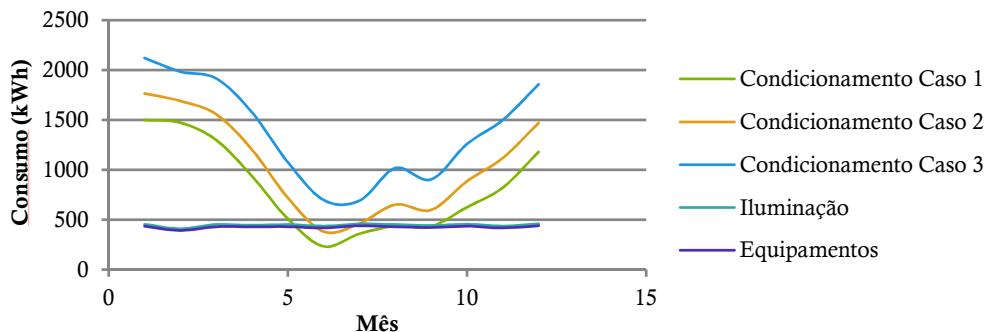


Figura 3 – Consumo anual por setor.
Fonte: Criado pelos Autores.

4 GERAÇÃO LOCAL DE ELETRICIDADE EM MEIOS URBANOS

Devido ao adensamento urbano, muitas vezes torna-se inviável a construção de uma central geradora de grande porte que possa suprir a demanda de toda a cidade e, portanto, é necessário recorrer a soluções locais individualizadas. Nesse caso, a geração de eletricidade a partir de fontes renováveis serve como aliada.

4.1 SISTEMAS ON-GRID OU CONECTADOS À REDE

O modelo de sistema que possui mais características positivas para uso nos grandes centros seria o sistema conectado à rede ou sistema *on-grid*. Esse sistema opera interligado à rede de distribuição de energia e, por essa razão, deve seguir as regras da operadora de energia para que o sistema se acople em potência. A estabilidade elétrica, frequência e tensão devem ser mantidas constantes e são controladas pelo operador da rede. Uma das grandes vantagens desse tipo de sistema é a possibilidade de se eliminar um dos elementos mais complicados do sistema de geração elétrica renovável: a acumulação ou armazenamento.

4.2 MEDIDORES BIDIRECIONAIS

Quando entram em cena os painéis fotovoltaicos ou aerogeradores, que podem gerar maior

quantidade de energia que a consumida em alguns períodos de tempo, surge a oportunidade de exportar (vender) energia para a rede, mas essa medição era impossível com os medidores unidirecionais.

Diante dessa necessidade, surgiram os medidores bidirecionais, que são capazes de registrar o fluxo de corrente em ambos os sentidos. A partir de então a geração local de energia vem trilhando um novo caminho, abrindo a possibilidade de trocas com a rede de distribuição: é consumidora nos momentos em que a energia gerada é menor que a consumida e é fornecedora quando há produção excedente.

4.3 SISTEMA DE GERAÇÃO SOLAR

Os sistemas solares têm se mostrado de grande eficiência na geração local de eletricidade em meios urbanos. A energia gerada localmente tende a aliviar as cargas da rede em momentos de pico e ainda permite a concessão de crédito, pela venda da energia para concessionária em momentos de sobra. Se aplicada em larga escala, poderá ainda vir a contribuir para a sustentabilidade da matriz energética nacional. Embora essa ainda seja uma realidade distante, o primeiro passo já está sendo dado por muitos que estão utilizando esse tipo de geração. Essa fonte permite a conexão com outras fontes geradoras tornando ainda mais atrativo o sistema, além de ser aliada na preservação do planeta, por não gerar resíduos que causem impactos negativos ao meio ambiente.

4.4 SISTEMA DE GERAÇÃO EÓLICO

O litoral brasileiro, de uma forma geral, apresenta velocidades de vento adequadas para se usufruir da geração de energia eólica em larga escala. Algumas regiões litorâneas como Nordeste, Sul e o Norte do Estado do Rio de Janeiro são considerados as mais apropriadas para exploração desse tipo de energia, segundo o Centro de Pesquisa da Eletrobrás (CEPEL). Inclusive no interior do país existem áreas montanhosas que dispõem de um potencial eólico que pode ser bem aproveitado. A região menos favorecida em relação aos ventos é a Norte, sendo pouco utilizada para essa exploração.

A energia eólica vem ganhando espaço na matriz energética brasileira, indicando que sua participação continuará crescendo em um forte

ritmo, devido aos investimentos com novos parques eólicos. Ao final do ano de 2015, a capacidade instalada de energia eólica pode chegar a cerca de 8.000MW, resultando numa expansão de 60% comparado ao ano de 2014.

4.5 PARÂMETROS PARA ESCOLHA DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO

Embora os sistemas solares e eólicos sejam uma saída para instalação nos grandes centros urbanos, alguns parâmetros devem ser analisados para que essas tecnologias não se tomem ineficazes após a instalação. Na Figura 4 são apresentados alguns parâmetros básicos para a escolha da tecnologia.

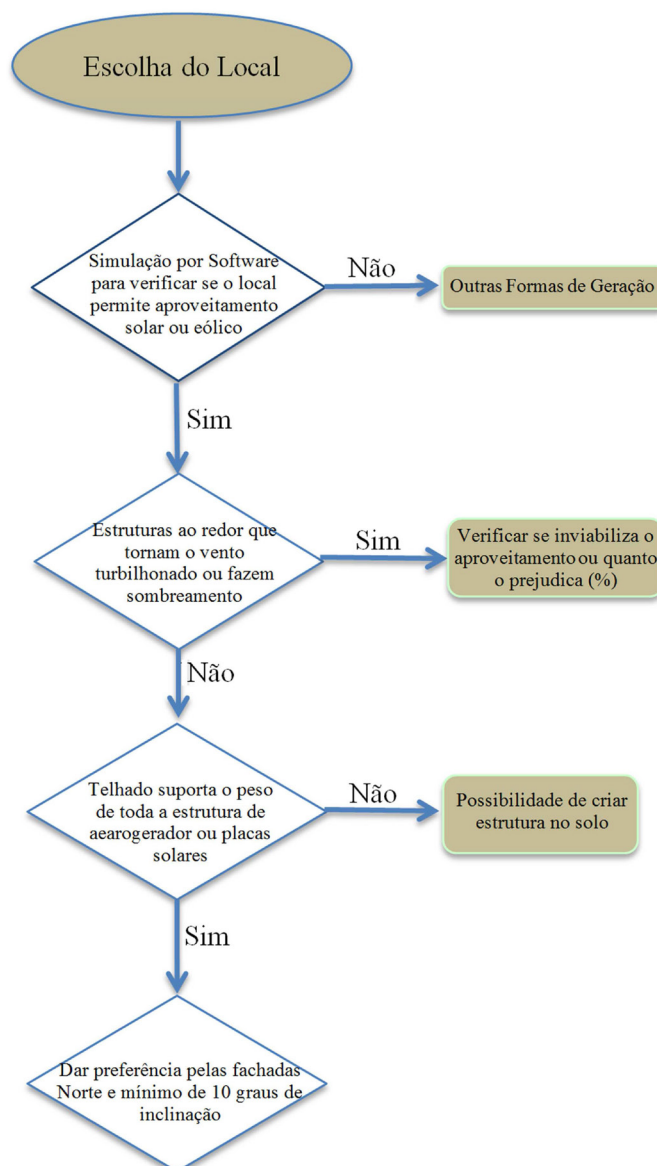


Figura 4 - Fluxograma na tomada de decisão para aproveitamento solar ou eólico.

Fonte: Criado pelos Autores.

5 SISTEMA DE APROVEITAMENTO SOLAR PARA O EMPREENDIMENTO

Para alimentar o empreendimento habitacional em análise, foi escolhido um sistema de geração de energia fotovoltaico interligado ao *grid*, formando um sistema híbrido rede-solar. A rede, nesse caso, funcionará como um banco de baterias, e no momento em que não houver oferta solar para suprir a planta, a rede passa a suprir o sistema com a energia da concessionária local.

Baseado na área disponível no telhado do bloco de apartamentos, 10m x 15m, foram colocadas 40 placas solares, modelo CS6P-250P, da Canadiansolar <<http://www.canadiansolar.com>>. O inversor escolhido para o projeto foi o modelo CSiOK-TLD-GW com potência de 10kW, do mesmo fabricante.

A partir dos resultados de consumo de eletricidade para os três casos analisados, o percentual de energia economizado seria verificado, caso o sistema rede-solar fosse utilizado. Para simulação do aproveitamento solar, o software RetScreen 4.0 foi usado como parâmetro para obter o montante de energia gerado pelo sistema escolhido, e para dados financeiros de *payback* do sistema.

5.1 SIMULAÇÃO DO SISTEMA

Para a simulação foi escolhida a cidade do Rio de Janeiro como parâmetro de local, e sistema fotovoltaico de geração de energia ligado ao *grid*. Baseado na radiação solar anual dada pelo *software* chegou-se a um montante de 14.150 MWh de eletricidade exportada para rede com o sistema escolhido, conforme mostrado na Figura 5.

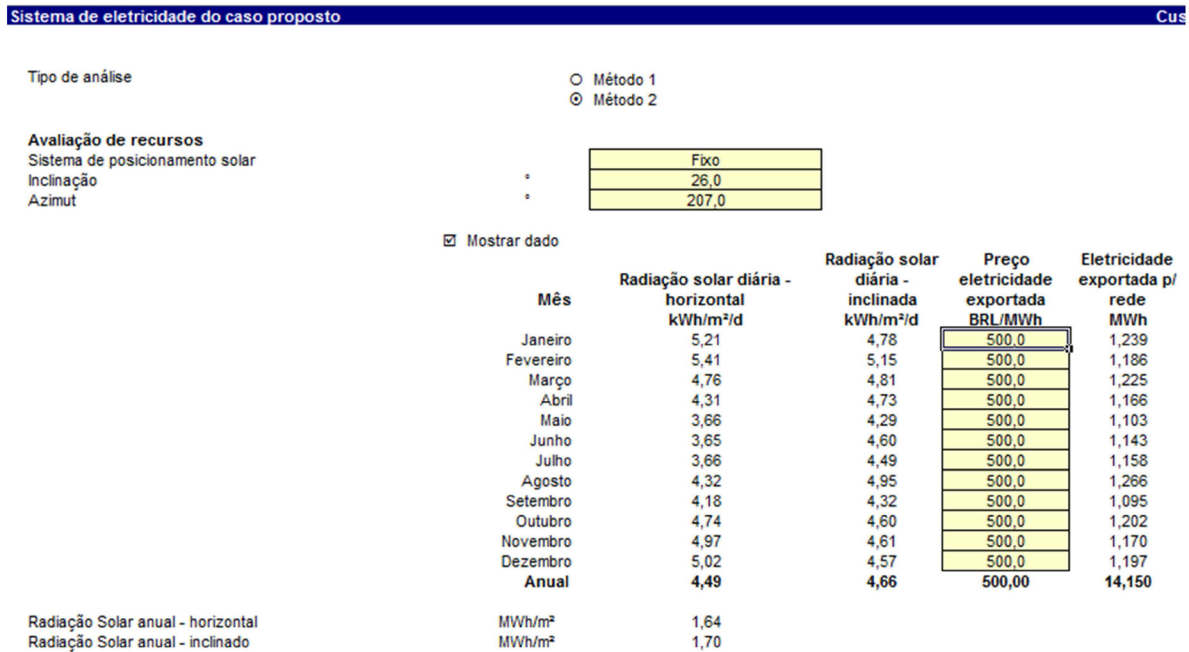


Figura 5 - Montante de eletricidade exportada para a rede.

Fonte: Simulação usando o software RetScreen.

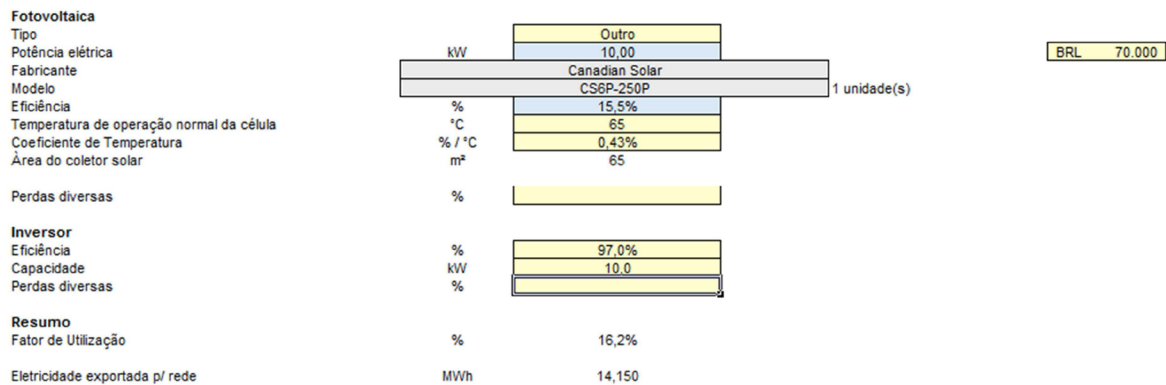


Figura 6 - Dados dos equipamentos utilizados no sistema e custo inicial.

Fonte: Simulação usando o software RetScreen.

Na Figura 6 são apresentados os dados referentes às placas solares e ao inversor utilizado no sistema, que foram retirados da folha de dados dos equipamentos junto ao fabricante. O custo inicial do sistema seria de R\$ 70.000,00 e foi calculado com base no preço dos equipamentos somado ao da instalação.

As características técnicas do sistema foram inseridas no software, e o tempo de *payback* do sistema calculado foi de aproximadamente 10 anos. Para esse cálculo foi considerada uma taxa de inflação de 6,0% ao ano e vida do sistema de 25 anos. Esses dados podem ser vistos na Figura 7.

Análise Financeira		
Parâmetros financeiros		
Taxa de inflação	%	6,0%
Vida do projeto	ano	25
Razão da dívida	%	
Custos iniciais		
Sistema de produção de eletricidade	BRL	70.000
Outro	BRL	
Total de custos de investimento	BRL	70.000
Incentivos e subsídios		
	BRL	
Pagamento anual de custos e empréstimos		
Custo (economia) de O&M	BRL	2.000
Custo combustível - caso proposto	BRL	0
	BRL	
Total de custos anuais	BRL	2.000
Economia anual e receita		
Custo combustível - caso de referência	BRL	0
Receita com eletricidade exportada	BRL	7.075
	BRL	
Total de economia e receita anual	BRL	7.075
Viabil. Financeira		
TIR antes impostos - ativos	%	11,5%
Retorno simples	ano	13,8
Retorno do capital próprio	ano	9,9

Figura 7- Análise financeira e *payback* do sistema.
Fonte: Simulação usando o software RetScreen.

6 CONCLUSÃO

A geração de energia elétrica a partir de fontes alternativas renováveis tem sido uma grande aliada nos centros urbanos. Com as altas temperaturas e o uso cada vez maior de aparelhos condicionadores de ar nas cidades brasileiras, o sistema interligado nacional de energia torne-se sobrecarregado em momentos de pico. Como solução para “desafogar” o sistema nesses momentos, surgem as tecnologias solares e eólicas. Além disso, quando se opta por instalar um sistema desse tipo, deixa-se de injetar na atmosfera toneladas de CO₂, contribuindo para a preservação do meio ambiente, sendo essa uma das principais motivações para o uso dessas tecnologias.

O estudo aqui apresentado visou ampliar a discussão sobre eficiência energética em habitações e a possibilidade de atender a demanda de energia através de fontes renováveis. Para isso, foram avaliados três tipos de revestimentos em habitações a partir de containers de carga, visando o

conforto térmico e a porcentagem de atendimento da demanda de energia elétrica de cada caso, a partir de placas fotovoltaicas instaladas no telhado dessas habitações.

A partir de simulações, verificou-se que o desempenho térmico de edificações em regiões de clima quente e úmido, como o Rio de Janeiro, não apresenta resultados satisfatórios com o aumento da inércia térmica em suas fachadas, devido ao retardamento da radiação solar incidente. Quanto mais espessa a parede, mais tempo demora para o calor “entrar” no prédio, além de demorar para dissipar a carga térmica gerada dentro do edifício. Então, em horários noturnos, quando o sistema de ar condicionado é acionado em edificações residenciais, a carga térmica é maior e prejudica o desempenho térmico daquela habitação.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. *Minha casa minha Vida, habitações*. Disponível em: <<http://www20.caixa.gov.br/Paginas/Noticias/Noticia/Default.aspx?newsID=904>>. Acesso em: 20 maio 2015.

CANADIANSOLAR. *Especificação técnica dos equipamentos utilizados no sistema solar*. Disponível em: <<http://www.canadiansolar.com/solar-systems/residential.html>>. Acesso em: 22 maio 2015.

DESIGNBUILDER. Disponível em: <<http://www.designbuilder.co.uk>>. Acesso em: 18 maio 2015.

ENERGYPLUS. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>>. Acesso em: 18 maio 2015.

INMETRO, INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. *Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R)*. Portaria nº 18, de 16 jan. 2012. Brasília, 2012.

PBE EDIFICA. *Programa Brasileiro de Etiquetagem Edifica*. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br>>. Acesso em: 22 maio 2015.

RETSCREEN. Disponível em: <<http://www.retscreen.net/pt/home.php>>. Acesso em: 18 maio 2015.

ABSTRACT

The presented work aims to evaluate the feasibility of electricity generation from renewable sources in sustainable housing built from containers. Thus, important parameters will be presented for choosing the installation or not of solar or wind technologies. For housing, three scenarios will be presented to the envelope of containers: without insulation, insulation in the north and west facades and, finally, insulation on all walls. The greatest variation among the scenarios will be consumption for conditioning of internal environments. From this study, the amount of electricity met by photovoltaic panels will be presented and, if there is possibility of installation, the wind turbines. In addition to reducing the consumption of electricity generated by conventional means, the reduction of CO₂ injected into the atmosphere by use of thermoelectric presents a great motivation for choice of solar and wind technologies.

Keywords: Energy efficiency. Renewable sources. Electricity generation. Housing.