

AValiação DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE UM SFCR EM UMA UNIVERSIDADE NO SUL DO BRASIL

Bruno Polydoro Cascaes – cascaes.bruno@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica

Leticia Jenisch Rodrigues – leticia.jenisch@mecanica.ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica

7.2. Impactos Sociais, Econômicos e Ambientais de Energias Renováveis

Resumo. O objetivo deste trabalho foi a avaliação da viabilidade do uso de SFCR's, sistemas fotovoltaicos conectados à rede, nos Campi da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, estudando seu potencial de geração de energia e consequente impacto no consumo da Universidade. A partir de imagens de satélite, foram avaliadas as áreas em potencial, e a partir das orientações azimutais, com o auxílio de softwares livres, estimou-se a energia média gerada anualmente. Dentre estes valores, o Campus do Vale se destacou pela área disponível e orientação favorável, tornando-se, assim, o alvo deste estudo. A geração simulada para o Campus do Vale mostrou o potencial para gerar 13% da energia consumida por toda a Universidade ao longo de um ano, utilizando 8.699 painéis, em um arranjo de 2,13 MWp. Além das vantagens financeiras para o usuário, o sistema de geração distribuída permite a troca bilateral de energia entre usuário e distribuidora, reduzindo assim os gastos em infraestrutura de transmissão, que é uma das principais fontes de perda de energia. Desta forma, com os recentes incentivos fiscais, esta área se torna cada vez mais viável.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica, Sistema fotovoltaico conectado à rede, Potencial de geração em prédios públicos

1. INTRODUÇÃO

A matriz energética nacional, de acordo com o balanço energético nacional (EPE, 2016), é composta em 75,5% por fontes renováveis. Entretanto, fontes hidráulicas somam 64% de toda a energia utilizada no país, como mostra a Fig. 1, fazendo com que os valores sejam altamente dependentes das condições climáticas e da incidência de chuvas. Fato este que já se mostrou prejudicial, haja a vista a implementação de um sistema de tarifas baseado em bandeiras, diretamente ligado à disponibilidade ou escassez de chuvas, evidenciando a necessidade de uma diversificação nas fontes de energia elétrica.

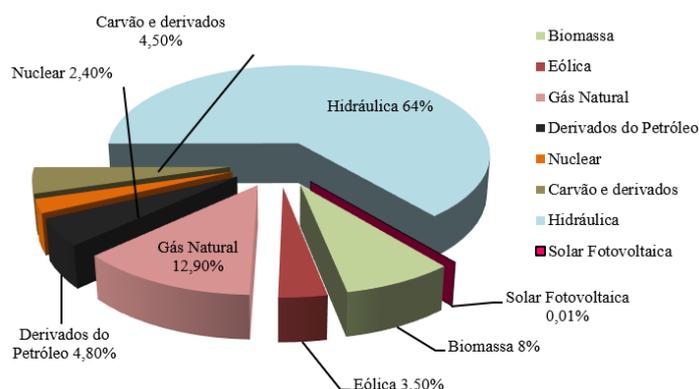


Figura 1 – Distribuição da matriz energética nacional. (EPE, 2016)

Atualmente existem 62 empreendimentos fotovoltaicos em operação no país, segundo o Banco de informações de geração (ANEEL, 2017), que representam apenas 0,27% da energia produzida no país. Embora sem uma participação expressiva na matriz energética nacional, a energia solar fotovoltaica tem se destacado como alternativa na geração distribuída, através de micro e minigerações. Em 2015, a geração distribuída produziu 34,9 GWh, com uma potência instalada de 16,5 MW, sendo destes 20 GWh gerados por fontes solares (EPE, 2016). Este tipo de geração mostra-se como uma solução promissora para os problemas da matriz energética nacional. A Resolução Normativa 687/2015 da ANEEL, possibilita a troca bilateral de energia do usuário com a distribuidora. Desta forma, a energia produzida em excesso é inserida na rede, gerando créditos que o usuário pode utilizar em períodos de baixa geração ou de consumo mais elevado que a produção. Possebon, 2016 aponta os benefícios da geração distribuída, que proporciona uma

independência dos recursos hídricos e traz uma robustez ao sistema, ao reduzir a necessidade de investimentos na área de transmissão.

Segundo Twidell e Weir, 2006, sistemas fotovoltaicos conectados à rede, SFCR, são os principais responsáveis pelo aumento na demanda de painéis fotovoltaicos. Programas governamentais, como os telhados solares na Alemanha e Japão, também ampliaram a procura por esta modalidade de produto. O uso da rede como bateria, armazenando a energia produzida excedente, aumenta também a confiabilidade do sistema, de acordo com Duffie e Beckman, 2013, pois as excessivas cargas e descargas nas baterias de um sistema isolado podem danificá-las.

Atualmente, o Rio Grande do Sul é o terceiro estado em mini e micro geração de energia (ANEEL, 2016), expondo o potencial da região para este fim. Isto, aliado à inclusão do estado no sistema de compensação de energia - com isenção da tarifa de ICMS sobre a energia produzida excedente, através do Decreto nº 52.964/2016 (AI-RS, 2016) - justifica a realização de estudos como este, que visem ampliar o entendimento sobre estes sistemas, expondo suas potencialidades através de análises de viabilidade.

Nesse sentido, o objetivo principal deste trabalho é avaliar o potencial de utilização de SFCR's nos Campi da UFRGS. Para isto, são selecionadas áreas com potencial de instalação, as quais são avaliadas com o auxílio de softwares livres, estimando-se a energia que seria gerada em um ano. Por fim, analisa-se a viabilidade econômica desta instalação, analisando três cenários econômicos distintos, otimista, pessimista e intermediário, de acordo com as variações na tarifa de energia elétrica.

2. ASPECTOS GERAIS

A ANEEL, através da Resolução Normativa N°687/2015 define sistema de compensação de energia elétrica como aquele no qual a unidade consumidora cede sua energia à distribuidora local, sendo compensada com o consumo de energia elétrica ativa. Estes créditos gerados pela entrega da energia têm validade de 60 meses, podendo ser utilizados em outros endereços, desde que a unidade consumidora em questão seja atendida pela mesma distribuidora local. A fim de que se encaixem no sistema de compensação de energia, as unidades geradoras devem se enquadrar como micro ou mini geradoras, devendo sua potência instalada não ser superior a 75 kW no caso de micro geração e inferior à 5 MW no caso de mini geração fotovoltaica.

Atualmente tem-se 4.751 empreendimentos de geração de energia em operação no país, totalizando 155,562 MW. Entretanto, destes, apenas 62 são de energia com origem fotovoltaica, representando apenas 0,27% da energia produzida no país. Porém, está previsto um aumento nesta capacidade de aproximadamente sete vezes, devido a 96 novos empreendimentos fotovoltaicos, sendo que destes 31 já se encontram em construção. A potência instalada em operação, bem como as em construção, encontram-se na Tab. 1, distribuídas por estado.

Tabela 1 - Empreendimentos de geração fotovoltaica, por UF (ANEEL, 2017).

UF	EM OPERAÇÃO [kW]	EM CONSTRUÇÃO [kW]	CONSTRUÇÃO NÃO INICIADA [kW]
AM	176,04	-	-
AP	765	-	-
BA	178.507,8	257.400	443.802
CE	5.000	-	264.096
GO	-	-	40.000
MA	51,93	-	-
MG	152.843,48	90.000	329.880
MS	1,38	-	-
MT	900	-	-
PB	-	60.000	84.000
PE	1.0000	-	43.315
PI	60.000	210.000	-
PR	22,06	-	-
RJ	470,4	-	-
RN	1.105,04	116.000	66.000
RO	20,48	-	-
RS	49,43	-	-
SC	3.999,93	-	-
SP	1.100,26	150.000	200.000

TO	-	-	180.000
Total	415.013,23	883.400	1.651.093

Segundo divulgado pela ANEEL, na nota técnica N°0056/2017, em maio de 2017 havia 10.561 consumidores com micro ou minigeração. Este número vem crescendo a cada ano, sendo registrado que no final do ano de 2016 o número de conexões foi 4,4 vezes superior ao registrado no final de 2015. Destas, 10.453 são de geração solar fotovoltaica, correspondendo a uma potência instalada de 80,7 MW. A quantidade de instalações por estado pode ser vista na Fig. 2.

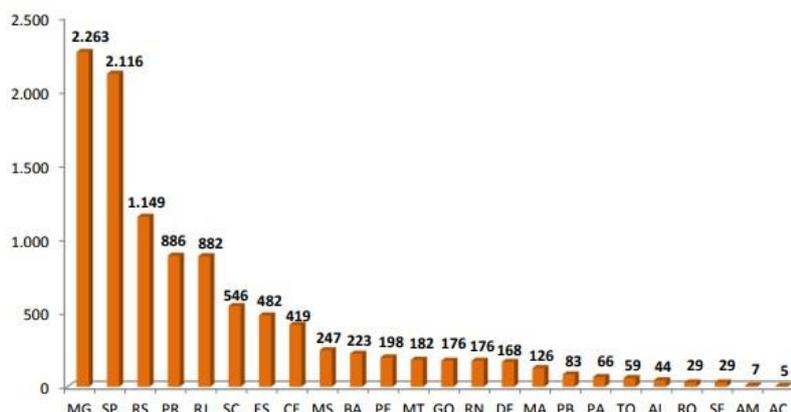


Figura 2 – Número de conexões por estado. (ANEEL, 20017)

3. ESTUDO DE CASO

3.1 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede - SFCR

Segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética, INEE, 2016, sistemas de geração distribuída são aqueles nos quais a geração ocorre próxima ao consumidor final, reduzindo investimentos em transmissão, e reduzindo as perdas nestes. SFCR's encaixam-se nessa classificação, pois a energia não consumida é retornada à rede, alimentando outros usuários. Observa-se, assim, que a adoção deste sistema impacta diretamente na matriz energética, ao reduzir a solicitação de outras fontes sujeitas a maiores perdas.

3.2 Áreas Analisadas

A seleção inicial das áreas deu-se pela avaliação qualitativa de imagens de satélite, bem como visita aos locais, a fim de identificar áreas livres de sombreamento, excluindo-se, também, prédios históricos ou em fase de reforma. Num segundo momento, avaliou-se quantitativamente a área disponível sobre cada telhado, para a possível instalação de painéis fotovoltaicos. Esta etapa foi realizada utilizando-se imagens de satélite, disponíveis no Google *maps*, e com o auxílio do *software Sketchup* - para estimar da área dos telhados - e do aplicativo *Compass* - para estimar a orientação azimutal com maior precisão. Imagens de quatro Campi da Universidade foram analisadas e as áreas estimadas disponíveis para a instalação de painéis fotovoltaicos, já desconsiderados prédios históricos ou com obstruções no telhado, são sumarizadas na Tab. 2.

Tabela 2 – Áreas disponíveis para instalações fotovoltaicas

<u>Campus</u>	<u>Área [m²]</u>
Centro	1.482,5
Saúde	4.740,1
Olímpico	2.054,1
Vale	43.182,2

3.3 Inclinação dos Painéis

A influência do ângulo de inclinação dos painéis fotovoltaicos no potencial de geração é alvo de diversos estudos, buscando encontrar um ângulo ótimo de geração. Para Pinho e Galdino, 2014, a geração máxima de potência é obtida quando o painel se encontra em uma inclinação igual à latitude do local da instalação, sendo possíveis pequenos desvios de até, mais ou menos, 10° sem prejuízos significativos na geração. Nesse sentido, Schneider, 2016, simulou o desempenho de um painel instalado em Porto Alegre, avaliando a geração do mesmo arranjo inclinado em 20°, 30° e

40°, onde a geração para a inclinação de 30° obteve resultados 1% maiores que a de 40°, e 0,78% maiores que a de 20°, quando se avaliou a produção anual.

Para o presente trabalho, avaliou-se ainda a geração de energia de um arranjo simples de dois painéis em série nas inclinações de 25° e 30°, obtendo-se valores até 1% superiores em geração para a inclinação de 30°, resultado este coerente com o estudo de Pinho e Galdino, 2014, dada a latitude da cidade onde o sistema será instalado, sendo esta então a inclinação escolhida para o desenvolvimento do trabalho.

3.4 Posicionamento dos Painéis

Para o posicionamento dos painéis, segundo Villalva, 2012, existem duas abordagens principais, uma focada em uma maior cobertura de área de telhado, e outra que visa a maior eficiência de cada módulo, reduzindo a possibilidade de sombreamento. Esta última foi a configuração adotada neste trabalho. As medidas necessárias para o cálculo do espaçamento dos painéis podem ser vistas na Fig. 4, onde L é o comprimento do módulo, α sua inclinação, Z é a altura, x o comprimento de sua área projetada, d o afastamento entre as áreas dos módulos e D o passo entre painéis.

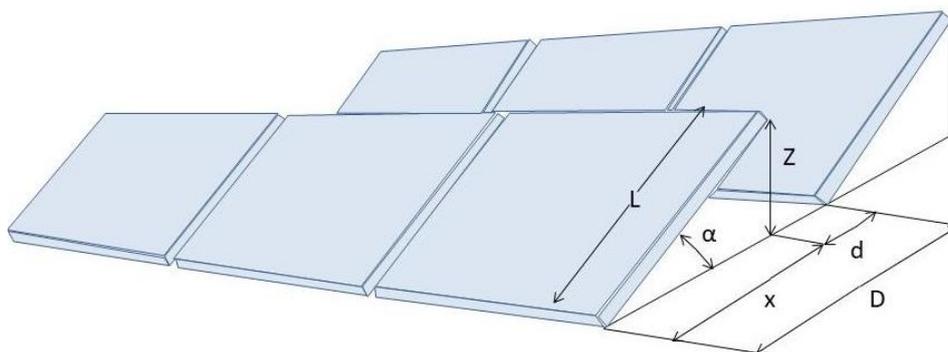


Figura 4 – Fileiras de módulos em instalações fotovoltaicas (Adaptado de Villalva, 2012).

Para fins de avaliação do potencial, neste trabalho adotou-se como referência o painel comercial YL245P, da marca Yngli (Yngli, 2016). A distância entre painéis é dada por

$$D = L[(3,5 \operatorname{sen}\alpha) + \operatorname{cos}\alpha] \quad (1)$$

na qual α é inclinação dos painéis, cujo valor adotado foi de 30° e L o comprimento do painel, fornecido pelo fabricante, igual a 0,99 m. Assim, determina-se uma distância entre as bases dos painéis, D , de 4,32 m. A seguir, pode-se definir os maiores arranjos possíveis de painéis para as áreas disponíveis, tendo como base um preenchimento uniforme dos telhados, com arranjos simétricos e que possibilitem a instalação com estruturas simples. A quantidade de painéis passível de instalação em cada Campi é resumida na Tab. 3.

Tabela 3 – Número de painéis por Campus.

<u>Campus</u>	<u>Número de painéis</u>
Centro	326
Saúde	955
Olímpico	454
Vale	8.699

3.5 Irradiação

Posteriormente à análise de áreas disponíveis, avaliou-se a irradiação anual, com relação à posição, à inclinação e ao desvio azimutal dos painéis fotovoltaicos, com o auxílio do *software* Radiasol. O *software* baseia-se em dados meteorológicos para criar um ano médio, estimando assim a irradiação média anual a qual cada módulo está sujeito. A seguir, os dados gerados foram tratados para o formato utilizado pelo *software* Crearray, no qual foram inseridas as especificações dos módulos, bem como a disposição do arranjo, no qual os mesmos estariam dispostos, a fim de se avaliar a potência gerada por cada arranjo, ao longo do período de um ano.

A Fig. 5 mostra a interface do *Software* Crearray, na qual à esquerda é exibido o arranjo de módulos a se calcular, do lado superior direito é exibida a curva de potência do arranjo em questão e no inferior direito são exibidos os dados do painel selecionado. O potencial de geração anual de energia, dividido por Campus, pode ser visto na Fig. 6.

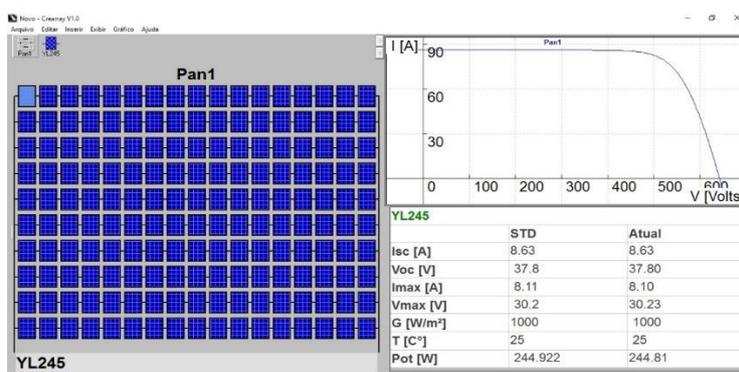


Figura 5 – Interface do software Crearray.

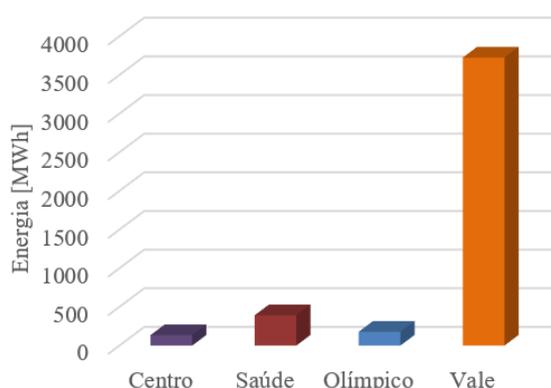


Figura 6 – Gráfico comparativo de geração anual entre Campi.

Com isto, observa-se que o Campus do Vale, por dispor da maior área para instalação de painéis, possui o maior potencial de geração de energia. Adicionalmente, analisa-se a proporção de energia gerada por área, Tab. 4.

Tabela 4 – Energia gerada por área ocupada.

Campus	Área [m ²]	Energia [kWh]	Energia/Área [kWh/m ²]
Centro	1.482,5	136,2	91,9
Saúde	4.740,1	392,3	82,8
Olímpico	2.054,1	179,3	87,3
Vale	42.633,6	3.726,3	87,4

Com isso, pode-se observar que os resultados de geração anual de energia para os Campi do Vale e Olímpico são próximos. Entretanto, o Campus Saúde apresenta a menor geração por área, fato que se justifica pela geometria e orientação de alguns telhados, que dificultam a instalação dos arranjos. De maneira similar, o Campus Centro apresenta uma geração por área levemente superior, dado pela orientação dos telhados desviar-se pouco do Norte geográfico.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho procurou-se avaliar o potencial de geração de energia fotovoltaica nos Campi da UFRGS. Para isto, foram selecionadas áreas com potencial de instalação, as quais foram avaliadas com o auxílio de *softwares* livres, estimando-se a energia que seria gerada em um ano.

Analisando-se os resultados obtidos fica perceptível o potencial de geração de energia dos Campi, em especial o Campus do Vale, caso estudado detalhadamente. Por possuir a maior área, de 42.633 m², este se mostra a opção mais atraente para a instalação de um SFCR. Esta instalação, contando com 8.699 painéis, seria capaz de fornecer 3,726 MWh por ano, equivalentes a 13% do consumo médio da Universidade (UFRGS, 2014). Um fator que influencia neste resultado é o fato de os prédios do Campus terem sido projetados de forma a melhor aproveitar a iluminação solar, tornando assim sua orientação favorável para a instalação de SFCR's.

SFCR's apresentam diversos benefícios, não apenas para quem adere a este sistema, como para a rede à qual este será inserido, pois através da geração distribuída, estes descentralizam a produção de energia, fato que contribui para a

redução de perdas nos sistemas de transmissão, além de gerar economia para o usuário. Esta área tem recebido atenção do governo, através de incentivos fiscais, visando tornar este investimento atrativo, de forma que não se façam necessários investimentos diretos na ampliação e diversificação da matriz energética, bem como melhorias nas redes de distribuição e transmissão. Assim, este estudo fornece uma base para futuras instalações, provendo uma ideia do impacto que a mesma teria sobre o consumo energético da Universidade e tempos de retorno do investimento, provando com isso sua viabilidade econômica e importância para a matriz energética nacional.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece o apoio financeiro, em bolsa de mestrado, por parte do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil (CNPq).

REFERÊNCIAS

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; “Geração distribuída”. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/pt/informacoes-tecnicas/>. Acesso em: 28/09/2016
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; “Resolução Normativa N°687/2015”. Brasil, 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf> Acesso em: 26/10/2017
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; “Banco de Informações de Geração - BIG”. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 26/10/2017
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; “Nota Técnica N°0056/2017”, Brasil, 2017. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica_0056_PROJE%C3%87%C3%95E+S+GD+2017/38cad9ae-71f6-8788-0429-d097409a0ba9. Acesso em: 30/10/2017
- AL-RS - Assembleia Legislativa, Estado do Rio Grande do Sul; “Decreto N°52.964/2016” Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em: http://www.al.rs.gov.br/legis/M010/M0100018.asp?Hid_IdNorma=62945. Acesso em: 28/10/2017
- Duffie, J.A., Beckman, W.A.; “Solar Engineering of Thermal Processes”. Ed. Willey, 4th Edition, 2013.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética; “Balanço Energético Nacional – BEN - 2016”. Brasília, 2016. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/> Acesso em: 30/10/2017
- INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética; “Geração Distribuída e Cogeração”. Disponível em: http://www.inee.org.br/forum_sobre_gd_cg.asp?Cat=gd. Acesso em: 03/11/2016
- Pinho, J.T., Galdino, M.A.; “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”. CRESESB, Rio de Janeiro, 2014.
- Possebon, R.; “Avaliação do Desempenho de um Arranjo Fotovoltaico Para Uma Residência Típica no Sul do País”. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Energia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- Schneider, V.; “Influência do ângulo de incidência da radiação solar em módulos fotovoltaicos usando softwares livres”. Salão de Iniciação Científica – UFRGS, 2016. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/153723>. Acesso em: 30/10/2016
- UFRGS; “Relatório de Gestão 2013”. Porto Alegre, 2014. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/ufrgs/arquivos/relatorios-de-gestao/relatorio-de-gestao-2013/view>. Acesso em: 03/11/2016
- Twidell, J.W., Weir, A.D.; “Renewable Energy Resources”. Taylor, 2nd Edition, 2006.
- Villalva, M.G.; “Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações”. Ed. Érica, São Paulo, 1ª Edição, 2012.
- YNGLI SOLAR. “Datasheet YGE 60 Cell 40mm SERIES”. Disponível em: http://www.yinglisolar.com/assets/uploads/products/downloads/YGE_60_Cell_Series_EN.pdf. Acesso em: 11/10/2016

EVALUATION OF GENERATION POTENTIAL FOR A GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM AT A UNIVERSITY IN THE SOUTH OF BRAZIL

Abstract.

The goal of this work was to evaluate the feasibility of using a grid-connected photovoltaic system in the Campuses of the Federal University of Rio Grande do Sul, in the South of Brazil. More specifically, assessing its energy generation potential and consequent impact on the consumption of the University. From satellite images, the potential areas were evaluated. The average annually energy generated was estimated using free softwares. The Vale Campus stood out for the available area and favorable orientation. So, its becoming the object of this study. The simulated generation at the Vale Campus, using 8,699 panels in a 2.13MWp arrangement, showed the potential to generate 13% of the energy consumed by the entire University over a year. In addition to the financial benefits to the user, the distributed generation system allows the bilateral exchange of energy between the user and the distributor, thus reducing transmission infrastructure costs, which is one of the main sources of energy loss. In this way, with the recent tax incentives this area becomes increasingly viable.

Key words: Solar photovoltaic energy, Grid-connected photovoltaic system, Generation potential in public buildings