

Análise do potencial de geração de energia solar fotovoltaica em um sistema integrado à edificação e interligado à rede - estudo de caso no prédio administrativo do campus porto da UFPEL

Analysis of the potential of solar photovoltaic power generation in an system integrated to a building and interconnected to a network - case study in the administrative building of Campus Porto – UFPEL

Vanessa Büttow Signorini
Arquiteta e Urbanista - Mestranda Prograu – Universidade Federal de Pelotas, UFPel,
Rua Benjamin Constant, nº 1359, CEP 96010-020, Pelotas, RS, Brasil
vanessasignorini@hotmail.com

Saionara Dias Vianna
Arquiteta e Urbanista - Mestranda Prograu – Universidade Federal de Pelotas, UFPel,
Rua Benjamin Constant, nº 1359, CEP 96010-020, Pelotas, RS, Brasil
svianna75@hotmail.com

Isabel Salamoni
Arquiteta e Urbanista (UCPel), Doutora em Engenharia Civil (UFSC) – Universidade Federal de Pelotas, UFPel,
Rua Benjamin Constant, nº 1359, CEP 96010-020, Pelotas, RS, Brasil
isalamoni@gmail.com

Resumo

A crescente demanda energética, no Brasil e no mundo, tem impulsionado a busca por alternativas mais sustentáveis para geração de energia elétrica. A energia solar fotovoltaica consiste na conversão direta da luz em eletricidade, apresentando-se como uma alternativa de alto potencial para o Brasil tendo em vista os índices de irradiação ao longo do vasto território brasileiro. Políticas públicas tem incentivado a aplicação de novas formas de geração de energia, viabilizando a utilização de sistemas solares fotovoltaicos (FV) integrados às edificações e conectados à rede elétrica de distribuição. Neste contexto, o presente estudo tem por objetivo identificar o potencial de geração de energia solar fotovoltaica do prédio administrativo Delfim Mendes Silveira do Campus Porto da Universidade Federal de Pelotas - UFPel, considerando o uso de placas de silício cristalino integradas à cobertura da edificação, em um sistema interligado à rede de distribuição da concessionária local. Os resultados foram obtidos através de análise da área de cobertura da edificação, de levantamento de dados de radiação solar para localidade e de dados de consumo energético da instalação da qual a edificação faz parte. O estudo permitiu verificar o potencial de geração de energia fotovoltaica da cobertura para duas orientações distintas, bem como o potencial de economia do consumo de energia convencional ao longo do ano.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica; BIPV; Eficiência energética.

Abstract

The increase energy demand in Brazil and worldwide, has driven the search for more sustainable alternatives for power generation. Photovoltaic solar energy is the direct conversion of light into electricity, presenting itself as an alternative to high potential for Brazil in view of the contents of irradiation along the vast Brazilian territory. Public policy has encouraged the application of new forms of power generation, enabling the use of solar photovoltaic (PV) systems integrated into buildings and connected to the electricity distribution network. In this context, this study aims to identify the potential of photovoltaic solar energy administration building Delfim Silveira Mendes Port Campus of the Federal University of Pelotas - UFPel considering the use of crystalline silicon integrated plates to cover the building in an interconnected system to the distribution network of the local utility. The results were obtained through analysis of the coverage area of the building, data collection of solar radiation to locality and energy consumption data of the facility which is part of the building. The study showed the potential of photovoltaic power generation coverage for two distinct orientations, as well as the potential savings in the consumption of conventional energy throughout the year.

Keywords: Photovoltaic solar energy; BIPV; Energy efficiency

1. INTRODUÇÃO

A demanda mundial e brasileira de energia vem crescendo continuamente, porém a oferta de energia elétrica não tem aumentado de forma proporcional a esta demanda. Frente a esse panorama as fontes renováveis de energia apresentam-se como uma alternativa a ser explorada e avaliada a fim de proporcionar uma maior qualidade e segurança no abastecimento de energia elétrica (SALAMONI, 2009).

Os sistemas solares fotovoltaicos tem a capacidade de transformar a energia solar diretamente em energia elétrica, sem emissão de gases, sem necessidade de partes móveis e silenciosamente, utilizando o sol que é uma fonte de energia limpa, renovável e virtualmente inesgotável (VIANA, 2008). Embora mundialmente a energia solar fotovoltaica venha avançando nos últimos anos de maneira mais rápida que as outras fontes de energia renováveis, no Brasil a potência de energia solar instalada ainda é muito pequena considerando a incidência solar disponível no território que varia de 4,8 a 6,0 kWh/m², enquanto países europeus como a Alemanha apresentam mais de 2,5 GWp instalados embora sua incidência solar seja menor, em torno de 3,4 kWh/m² (RIBEIRO, 2012).

A instalação dos sistemas fotovoltaicos pode se dar tanto em locais distantes das áreas urbanas, atuando como centrais geradoras de energia elétrica, como de forma integrada à edificação e interligados à rede elétrica, evitando assim perdas que ocorrem na transmissão e na distribuição e auxiliando na redução do pico de carga.

A geração de energia na própria edificação possibilita a sobreposição dos módulos aos elementos construtivos ou até mesmo sua substituição e tem sido altamente incentivada por programas de certificação ambiental de edifícios (IEA, 2010).

No Brasil a Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL estabelece um marco regulatório para as condições gerais de acesso a microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia

elétrica e para o sistema de compensação de energia elétrica.

2. OBJETIVOS

Este estudo tem por objetivo identificar o potencial de geração de energia solar fotovoltaica do prédio administrativo Delfim Mendes Silveira do Campus Porto da Universidade Federal de Pelotas - UFPel, considerando o uso de placas integradas à cobertura da edificação, e um sistema interligado à rede de distribuição da concessionária local.

3. JUSTIFICATIVA

De acordo com o Operador Nacional do Sistema (ONS, 2014), minutos antes do apagão registrado em fevereiro de 2014 que atingiu 13 estados brasileiros, a região Sul registrou recorde de energia demandada. A demanda nos períodos de verão, especialmente em edificações de uso comercial, caracteriza-se por ser fortemente influenciada pelo uso intensivo de aparelhos de ar condicionado. Dessa forma, para esse perfil de consumidores o pico de demanda ocorre no período diurno, coincidindo com a maior radiação solar (LAMBERTS et.al., 2014). Além da concomitância horária, a geração fotovoltaica e o condicionamento de ar para refrigeração também possuem concomitância anual, ou seja, no verão, quando há maior radiação (BASQUERA et. al., 2013), também há maior consumo de energia, e no inverno com menor radiação também há menor consumo de energia para refrigeração.

Neste contexto, o presente trabalho apresenta-se como um estudo a cerca do potencial de geração de energia solar fotovoltaica em um sistema integrado à edificação e interligado à rede, para a área de cobertura do prédio administrativo que abriga a reitoria da UFPEL, buscando evidenciar a capacidade de economia de energia elétrica no Campus Porto.

4. MÉTODO

O principal campus da Universidade Federal de Pelotas, denominado campus Porto, situa-se atualmente nas antigas instalações do desativado Frigorífico Anglo localizado na zona portuária da cidade de Pelotas e possui cerca de 25.000m² de área construída efetivamente em uso. A Figura 1 mostra a implantação do campus Porto com detalhe ampliado destacando a edificação que corresponde ao prédio administrativo Delfim Mendes Silveira, objeto deste estudo. Tal edificação apresenta uso predominantemente diurno.



Figura 1 - Imagem aérea da campus Porto da UFPEL com ampliação do Edifício Delfim Mendes Silveira.

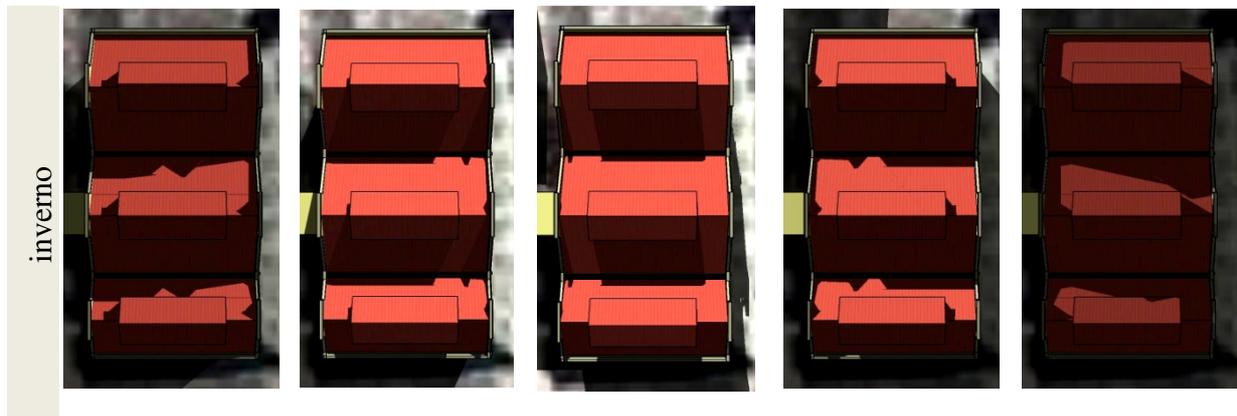
Fonte: Adaptado de Google Earth 2014.

O trabalho foi desenvolvido em cinco etapas as quais seguem descritas a seguir.

1. Estudo da área de cobertura da edificação;
2. Levantamento de dados de radiação solar para localidade;
3. Análise dos dados de consumo energético da instalação da qual a edificação faz parte;
4. Verificação do potencial de geração de energia fotovoltaica da cobertura;
5. Análise do potencial de economia de energia convencional.

4.1. Estudo da área de cobertura da edificação

Para identificar a área da cobertura a ser utilizada para a instalação dos módulos fotovoltaicos, o prédio foi modelado no programa SketchUp, versão 8, verificando-se as áreas de sombreamento sobre os planos da cobertura ao longo do ano, conforme Figura 2. A edificação não possui sombra acarretada por outras construções ou vegetação em seu entorno. As sombras geradas são decorrentes da volumetria e de elementos construtivos constituintes da própria cobertura.



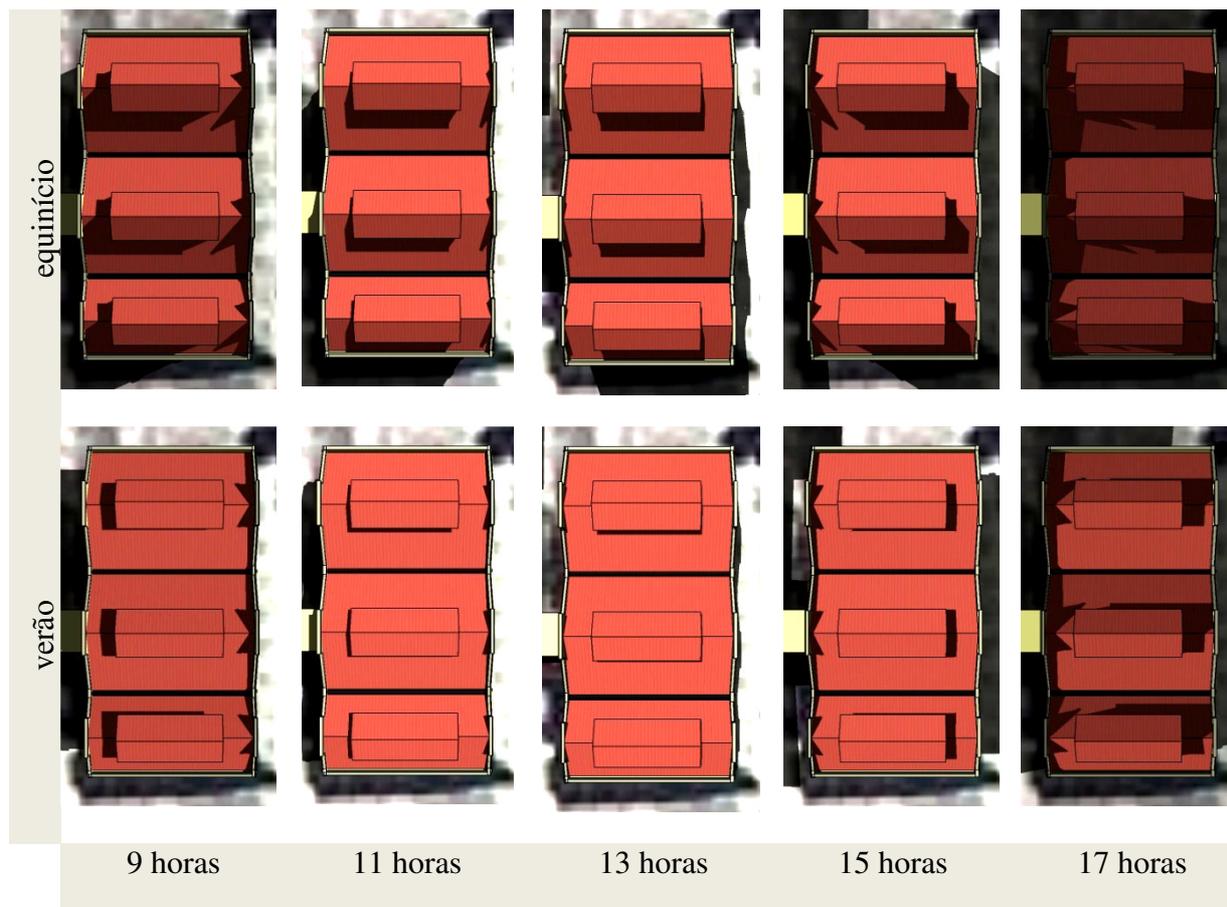


Figura 2 – Estudo de sombras na cobertura - solstício de inverno, de verão e equinócios.

4.2. Levantamento de dados de radiação solar para a localidade

Os dados de radiação solar foram obtidos através do programa Radiasol, calibrado com informações de radiação solar horizontal do Atlas de Energia Solar (2006). Foram extraídos valores de Irradiação, tais como, média diária mensal, média diária anual de acordo com a latitude, longitude, ângulo de inclinação e desvio azimutal da cobertura. O Gráfico 1 mostra os valores de irradiação solar para a cobertura do edifício em questão, que apresenta inclinação de 30°, com o desvio azimutal 0° para a orientação Norte e 180° para a orientação Sul. Os valores obtidos de radiação média diária anual para a orientação Norte foram de 4,83 kWh/m²/dia. Já para a orientação Sul a média diária foi de 3,777kWh/m²/dia.

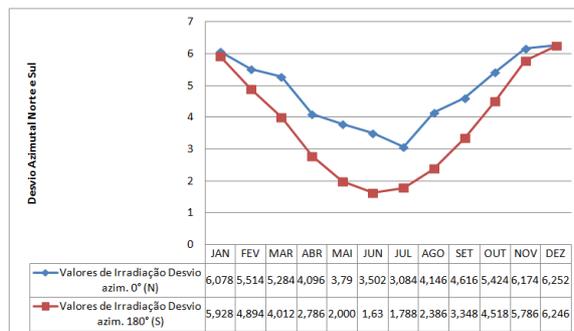


Gráfico 1 – Valores de Irradiação Solar para desvio Azimutal 0° - Norte, e 180° - Sul.

4.3. Análise dos dados de consumo energético da instalação da qual a edificação faz parte

As informações relativas ao consumo de energia elétrica do Campus Anglo – UFPEL foram obtidas na página do Proben (Programa de bom uso energético) no site da Universidade Federal de Pelotas o qual

disponibiliza em seu portal os valores referentes aos custos e o consumo. Os dados relativos ao consumo

mês a mês de energia elétrica nos anos de 2012 e 2013 no campus Anglo – UFPEL encontram-se indicados no Gráfico 2. Durante o processo de busca dos dados de consumo energético da referida edificação, constatou-se que todos os prédios do campus compõe uma única instalação de medição, ou seja, as informações de consumo obtidas se referem a todas as edificações que fazem parte do Campus Porto, e não apenas da edificação em estudo.

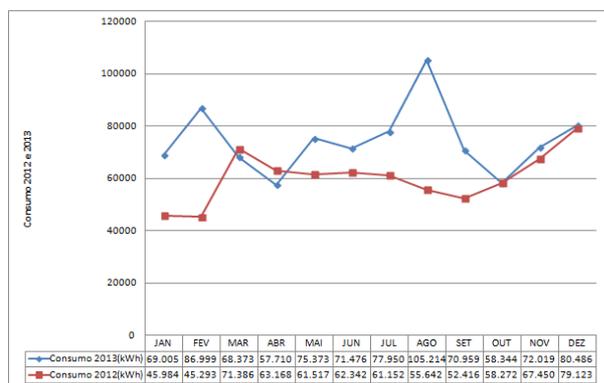


Gráfico 2 – Consumo mês a mês de energia elétrica nos anos de 2012 e 2013

Fonte: <http://wp.ufpel.edu.br/proben/anglo/>

4.4. Verificação do potencial de geração de energia fotovoltaica da cobertura

A partir dos dados de radiação e da área de cobertura foi realizada uma estimativa do potencial de geração de energia solar fotovoltaica considerando a equação 1:

$$G = A * E_{FF} * H_{HOR} * n * R \quad (1)$$

Onde:

G = energia solar FV (G) em kWh/mês; A = área útil de cobertura disponível em m²; EFF= eficiência do módulo solar FV em %; H Tot = irradiação solar para o plano inclinado em kWh/m²/dia; n = os dias de cada mês; R = rendimento do sistema em %.

O cálculo foi realizado a fim de verificar o potencial para as orientações Norte e Sul, considerando o percentual de 80% de área útil da cobertura. Para a eficiência dos módulos foi considerado o valor de 16%, recorrente nos módulos fotovoltaicos existentes no mercado. Os resultados encontram-se indicados na Figura 3. Destaca-se que não foi considerado a geração de energia nos meses de maio, junho, julho e agosto na orientação sul, tendo em vista o estudo de sombreamento no qual constatou-se que as áreas de cobertura nesta orientação e neste períodos ficam sombreadas em razão da inclinação e volumetria do próprio telhado.

| Latitude = 31° S - Longitude = 51°W - Cobertura = 30° | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|--|--------------------------------------|----------|------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| | Radiação global horizontal | Radiação kWh/m ² /dia NORTE | Radiação kWh/m ² /dia SUL | dias/mes | Performance do Sistema | Eficiência do Silício Cristalino | Área útil (m ²) | G (energia gerada) kWh/mês NORTE | G (energia gerada) kWh/mês SUL |
| Janeiro | 6,39 | 6,078 | 5,928 | 31 | 80% | 16% | 357,048 | 8611,106568 | 8398,591599 |
| Fevereiro | 5,54 | 5,514 | 4,894 | 28 | 80% | 16% | 357,048 | 7056,045416 | 6262,656197 |
| Março | 4,89 | 5,284 | 4,012 | 31 | 80% | 16% | 357,048 | 7486,193996 | 5684,067054 |
| Abril | 3,56 | 4,096 | 2,786 | 30 | 80% | 16% | 357,048 | 5615,879455 | 3819,785196 |
| Mai | 2,95 | 3,79 | 0 | 31 | 80% | 16% | 357,048 | 5369,544899 | 0 |
| Junho | 2,58 | 3,502 | 0 | 30 | 80% | 16% | 357,048 | 4801,467249 | 0 |
| Julho | 2,46 | 3,084 | 0 | 31 | 80% | 16% | 357,048 | 4369,307775 | 0 |
| Agosto | 3,37 | 4,146 | 0 | 31 | 80% | 16% | 357,048 | 5873,91376 | 0 |
| Setembro | 4,15 | 4,616 | 3,348 | 30 | 80% | 16% | 357,048 | 6328,832901 | 4590,323343 |
| Outubro | 5,27 | 5,424 | 4,518 | 31 | 80% | 16% | 357,048 | 7684,541301 | 6400,950884 |
| Novembro | 6,39 | 6,174 | 5,786 | 30 | 80% | 16% | 357,048 | 8464,951112 | 7932,978156 |
| Dezembro | 6,66 | 6,252 | 6,246 | 31 | 80% | 16% | 357,048 | 8857,623933 | 8849,123334 |
| TOTAL | | | | | | | | 80519,40836 | 51938,47576 |

Figura 3 - Radiação solar e geração de energia para as orientações Norte e Sul.

4.5. Análise do potencial de economia de energia convencional

A análise do potencial de economia de energia convencional foi realizada através da definição de um modelo comercial de módulo fotovoltaico, a partir dos seguintes critérios: área útil de cobertura, eficiência (até 18%), e potência do sistema. O modelo escolhido foi Bosch Solar Module c-Si M 48

que apresenta uma potência de 195W em cada placa. A Figura 4 ilustra as áreas de cobertura com aplicação dos módulos. A Figura 5 apresenta os dados referentes a potência do sistema e capacidade de geração de energia fotovoltaica em cada mês e anual.

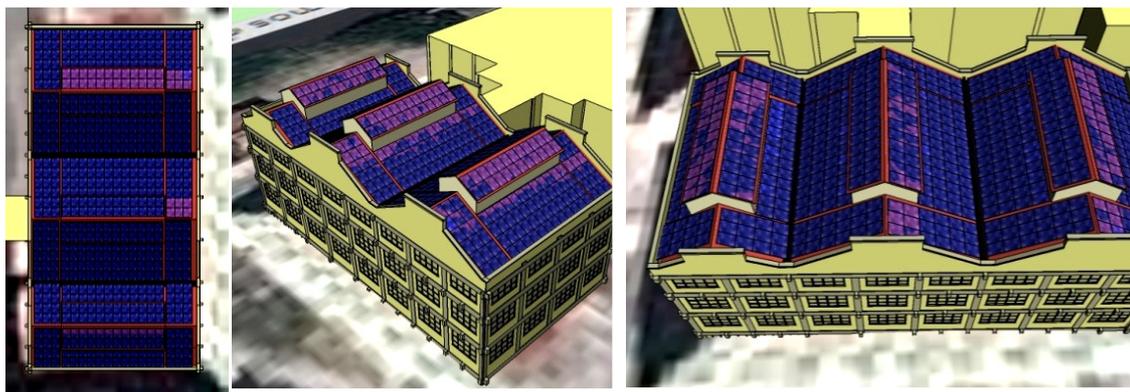


Figura 4 – Cobertura com placas solares nas orientações Norte e Sul.

Para o estudo foram analisadas as possibilidades de instalação dos módulos apenas na cobertura norte, e também em conjunto na cobertura sul. A área de cobertura orientada a norte possibilita instalar 288 painéis, sendo a distribuição de 108 painéis no primeiro volume, 108 no segundo e 72 no terceiro volume da cobertura. A mesma quantidade pode ser

instalada na orientação sul, visto que a cobertura é simétrica. O cálculo da potência da instalação considerou o número total de placas e a potência individual de cada uma, chegando-se ao valor de

56,16 kWp na orientação norte, e 112,36 kWp instalando-se em ambas orientações.

| Painel | | | |
|-----------------------|-----------------|----------------|-------------------------|
| modelo | c-si M 48 | Bosch | |
| Dimensões | 1,325996 | m ² | |
| largura | 1,334 | m | |
| comprimento | 0,994 | m | |
| Potência/placa | 195 | W | |
| Rendimento do Sistema | | | |
| orientação | NORTE | | SUL |
| quantidade instalada | 288 | paineis | 288 paineis |
| Potência | 56,16 | kWp | 56,16 kWp |
| Janeiro | 8465,24 | kWh/mês | 8256,33 kWh/mês |
| Fevereiro | 6936,52 | kWh/mês | 6156,57 kWh/mês |
| Março | 7359,39 | kWh/mês | 5587,79 kWh/mês |
| Abril | 5520,75 | kWh/mês | 3755,08 kWh/mês |
| Mai | 5278,59 | kWh/mês | 0,00 kWh/mês |
| Junho | 4720,14 | kWh/mês | 0,00 kWh/mês |
| Julho | 4295,30 | kWh/mês | 0,00 kWh/mês |
| Agosto | 5774,42 | kWh/mês | 0,00 kWh/mês |
| Setembro | 6221,63 | kWh/mês | 4512,57 kWh/mês |
| Outubro | 7554,37 | kWh/mês | 6292,53 kWh/mês |
| Novembro | 8321,56 | kWh/mês | 7798,60 kWh/mês |
| Dezembro | 8707,59 | kWh/mês | 8699,23 kWh/mês |
| Total/Anual | 79155,50 | kWh/mês | 51058,70 kWh/ano |

Figura 5 - Radiação solar e geração de energia para as orientações Norte e Sul

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise de sombreamento da cobertura permitiu verificar às áreas favoráveis à instalação dos painéis. A orientação norte confirmou-se como a melhor orientação, e identificou-se que, apesar do sombreamento no período de inverno, a orientação sul também mostra-se como alternativa à geração de energia fotovoltaica, especialmente no período de verão. O potencial de geração de energia da cobertura orientada à Norte chega a 79.155,50 kWh/ano, enquanto o da cobertura orientada ao Sul fica em 51.058,70 kWh/ano.

Os dados relativos ao consumo da edificação demonstram que o pico de consumo da energia convencional se dá nos períodos de verão e inverno, ou seja nos extremos de temperatura, que possivelmente ocasionam um uso mais intenso do sistema de condicionamento de ar. Porém uma análise mais criteriosa deve ser realizada a fim de verificar os fatores determinantes para o aumento da demanda de energia nestes períodos.

A partir da análise dos dados de radiação sobre o sistema de módulos fotovoltaicos escolhido, é possível identificar que a maior geração de energia solar se dá no período de verão, sendo que a curva

de geração não acompanha a curva de consumo energético. O Gráfico 3 apresenta as curvas de consumo energético convencional, de geração de energia FV apenas na orientação norte, de geração de energia FV em ambas as orientações e ainda a curva que demonstra o consumo de energia convencional subtraído da energia fotovoltaica produzida.

A máxima geração de energia do sistema FV ocorre no mês de dezembro atingindo valores muito próximos nas orientações norte e sul, em torno de 8700 kWh/mês em cada orientação. Nesta situação fica evidente que a instalação do sistema em ambas as orientações é viável. No entanto a contribuição do sistema para a redução do consumo de energia convencional ao longo do ano é variável - com valores de 6 a 7% nos meses de junho e julho, 12 e 13% nos meses de outubro e novembro, atingido a maior contribuição no mês de janeiro com redução de 15%, considerando o sistema instalado apenas na orientação Norte. Com a instalação do sistema em ambas orientações os valores de contribuição na redução do consumo de energia convencional chegam a 23 e 24% nos meses de outubro e novembro, e a 29% no mês de janeiro. Cabe destacar que essa contribuição é computada para o consumo

de todos os prédios do campus, tendo em vista que possuem uma única medição.

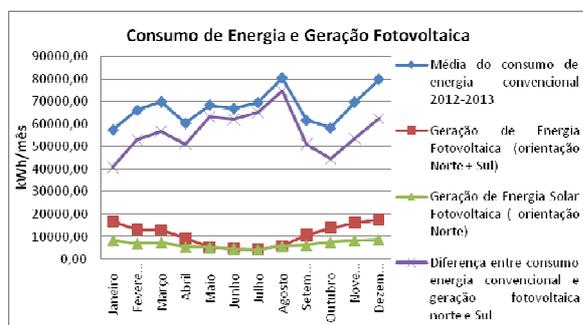


Gráfico 3 – Consumo de energia e geração energética no sistema proposto.

Considerando a média de consumo anual do campus em 808.826,50 kW/ano e sua área construída, pode-se estimar um consumo por m², chegando-se ao valor de 32,35 kW/m²/ano para as construções de todo o campus Porto, o que corresponderia ao valor total de 105.393,3 kW/ano somente para o prédio em estudo. De acordo com esta estimativa de consumo, a geração de energia FV no sistema instalado, apenas na orientação Norte, supriria 75% de toda a energia consumida nesta edificação em todo o ano. Os valores do sistema instalado em ambas as orientações produziram o valor equivalente a 124% da energia consumida ao longo do ano. Destaca-se que são valores estimados, fazendo-se necessário um levantamento detalhado dos fatores que definem o consumo de cada edificação para que os valores de contribuição da geração fotovoltaica possam ser precisamente calculados.

Com relação à definição da quantidade de módulos a serem instalados, foi considerado o valor máximo possível para as áreas de cobertura disponíveis. Porém esta definição deve ser analisada em conjunto com a estimativa de custos de instalação, operação e manutenção do sistema. Desta forma é possível definir qual a alternativa apresenta-se mais viável, se apenas na orientação Norte que apresenta maior rendimento, por exemplo, ou se em ambas as orientações. A Tabela 1 apresenta uma estimativa do custo para os sistemas propostos neste trabalho, tendo por parâmetro os valores divulgados pelo Instituto Ideal para a instalação de sistemas fotovoltaicos no Brasil, no segundo semestre de 2013. Os valores são determinados de acordo com a

potência do sistema, considerando-se mais rentável aquele que for instalado de forma a produzir mais energia, de acordo com a radiação solar recebida.

Tabela 1 – Custos de investimento em sistemas fotovoltaicos (R\$/Wp)

| Custo do sistema | Norte | Norte + sul |
|--|------------|-------------|
| R\$7.000,00 a | R\$ | R\$ |
| 10.000,00 /kWp | 477.360,00 | 954.720,00 |
| *adotado valor intermediário = R\$ 8.500,00/kWp | | |

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho permitiu analisar o potencial de geração de energia solar fotovoltaica considerando a possibilidade de instalação de painéis em duas diferentes orientações solares. Desta forma foi possível comparar o que seria a melhor e a pior situação em termos de rendimento do sistema por orientação solar, o que permitiu verificar que até mesmo a orientação sul mostra-se viável para a geração de energia solar, com rendimento próximo ao da orientação Norte no período de verão.

O estudo de sombras mostrou-se de fundamental importância, visto que apesar do programa Radiasol indicar radiação solar para a cobertura com orientação sul e inclinação de 30°, a volumetria do telhado projetou sombra sobre a mesma no período de inverno, optando-se por desconsiderar a contribuição desta radiação no dimensionamento do sistema. Desta forma, evidencia-se que o desenvolvimento de um método que analise simultaneamente a radiação solar disponível e a volumetria da edificação tornaria o processo de dimensionamento do sistema de geração de energia solar mais preciso.

Referências Bibliográficas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa 482/12. Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em: 11/07/2014.

IEA – Internacional Energy Agency. Acessado em: <http://www.iea.org/>

ONS - Operador Nacional do Sistema. Acessado em: 15 de julho de 2014. Disponível em: www.ons.gov.br.

RIBEIRO, U.G.V. Estudo de viabilidade econômica de instalação de fontes de energia renováveis baseadas em células fotovoltaicas para o uso residencial. Escola de engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. Trabalho de conclusão de curso. São Carlos. 2012.

SALAMONI, Isabel; MONTENEGRO, Alexandre; RÜTHER, Ricardo. O panorama da energia solar fotovoltaica conectada à rede elétrica no Brasil: benefícios, legislação e desafios. Anais. X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no ambiente construído. Natal, 2009.

VIANA, T. S. Potencial de Sistemas Fotovoltaicos concentradores no Brasil. II Congresso de Energia Solar. Florianópolis, 2008.