



Evento: XXVII Jornada de Pesquisa

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A GERAÇÃO ENERGÉTICA FOTOVOLTAICA E O CONSUMO ENERGÉTICO DE PROPRIEDADE LOCALIZADA NA ZONA RURAL DE IJUÍ ¹

**COMPARATIVE STUDY BETWEEN PHOTOVOLTAIC ENERGY GENERATION AND ENERGY
CONSUMPTION OF PROPERTY LOCATED IN THE RURAL AREA OF IJUÍ**

**Mônica Nejar de Almeida ², Cristina Schoefer Dessbesell ³, Airam Teresa Z. R. Sausen ⁴,
Mauricio de Campos ⁵**

¹ Projeto de pesquisa desenvolvido na UNIJUÍ, no programa de pós graduação em Modelagem Matemática e Computacional e no GAIC - Grupo de Automação Industrial e Controle.

² Estudante na UNIJUÍ do curso de pós graduação em Modelagem Matemática e Computacional - Nível mestrado.

³ Estudante na UNIJUÍ do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica - Bolsista PROFAP.

⁴ Professora Doutora do Curso de pós graduação em Modelagem Matemática e Computacional e Professor do curso de Matemática da UNIJUÍ.

⁵ Professor Doutor do Curso de pós graduação em Modelagem Matemática e Computacional e Professor do curso de Engenharia Elétrica da UNIJUÍ. Bolsista Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico do CNPq - Nível 2.

RESUMO

A dependência do uso de combustíveis fósseis, responsáveis por danos irreparáveis causados ao meio ambiente, como principal fonte energética, pode ser reduzida pela utilização de fontes renováveis de energia. A luz do sol, recurso renovável e sustentável, cada vez mais, se destaca na matriz energética mundial. Nota-se, porém, uma desigualdade no uso de energia solar entre o meio urbano e o rural, tendo em vista que muitas vezes a propriedade rural se encontra em trechos da rede de energia elétrica denominados "fim de rede". Esses trechos, diferentemente de instalações urbanas, não permitem que a energia excedente seja realimentada na rede. Assim, esse trabalho realiza um estudo comparativo entre a energia solar gerada e a energia necessária ao consumo de forma a analisar a viabilidade de um sistema solar fotovoltaico em uma pequena propriedade rural característica da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul. Percebe-se que realmente existe um excedente de energia que será desperdiçado e que precisa ser corretamente avaliado.

Palavras-chave: fonte energética, energia renovável, sistema fotovoltaico.

ABSTRACT

Dependence on the use of fossil fuels, responsible for irreparable damage to the environment, as the main energy source, can be reduced by the use of renewable energy sources. Sunlight, a renewable and sustainable resource, increasingly stands out in the global energy matrix. However, there is an inequality in the use of solar energy between urban and rural areas. Considering that the rural property is often located in sections of the electricity network called "end of network". These stretches, unlike urban installations, do not allow excess energy to be fed back into the grid, thus, this work carries out a comparative study between the generated



solar energy and the energy required for consumption in order to analyze the feasibility of a photovoltaic solar system in a small rural property characteristic of the northwest region of the state of Rio Grande do Sul. It is noticed that there really is a surplus of energy that will be wasted and that needs to be correctly evaluated.

Keywords: energy source, renewable energy, photovoltaic system.

INTRODUÇÃO

Devido à baixa densidade populacional no meio rural, existem vários problemas relacionados com a qualidade do fornecimento de energia elétrica, bem como com sua disponibilidade (SILVA *et. al.* 2002). No entanto, é importante ressaltar que, mesmo pequenas instalações rurais, têm adquirido mais equipamentos eletromecânicos e, portanto, necessitam de uma quantidade cada vez mais significativa de energia. Nesse sentido, o acesso à energia elétrica é uma condição necessária para promover o desenvolvimento econômico e social dessa parcela da população.

Com o aumento exponencial do consumo de energia elétrica, as questões energéticas têm se destacado nas discussões sobre a preservação do meio ambiente, tendo em vista que a geração de energia a partir de fontes não renováveis causa vários reflexos negativos como o aquecimento global e a emissão de poluentes que podem, entre outras coisas, causar o efeito estufa além de provocar diversos problemas de saúde para a humanidade (IPCC,1995). Por outro lado, a exploração de fontes renováveis para a geração de energia elétrica promove impactos positivos no meio ambiente.

Com isso, existe atualmente uma forte tendência na ampliação do uso de fontes renováveis de energia para a geração de eletricidade. Dentre as formas mais simples de utilização dos recursos naturais, a energia solar atualmente tem se expandido significativamente nas zonas urbanas e já começa a despontar nas áreas rurais. Uma possível economia advinda da utilização da energia solar pode permitir ao produtor rural um maior investimento no agronegócio local e conseqüentemente, deverá promover uma maior lucratividade e maior desenvolvimento para a região (BALDWIN *et. al.*, 2014).

O uso de energia solar fotovoltaica pode se dar de duas maneiras: sistemas *on-grid*, com a geração conectada diretamente à rede de distribuição de energia elétrica e sistemas *off-*



grid, que utiliza alguma forma de armazenamento de energia, geralmente baterias (ZILLES, 2012).

Seja em grandes, médias ou pequenas propriedades rurais, onde a energia elétrica da rede pública de distribuição não chega, ou não se estende por toda a área, inúmeras são as vantagens de se tornar independente quanto ao uso da energia elétrica (MANDELLI et. al. 2016).

Segundo Mandelli (2016), para que seja feito o uso do sistema solar fotovoltaico na modalidade *off-grid*, faz-se necessário um estudo sobre a viabilidade do mesmo, ou seja, uma análise da geração solar do local e outra análise da necessidade energética (consumo), objetivando calcular a energia excedente, a qual será armazenada em baterias para uso posterior.

Neste contexto, este artigo descreve uma análise preliminar de uma instalação rural, onde é avaliada a curva de consumo real em função da sua capacidade de geração fotovoltaica. Tanto a curva de demanda horária, quanto a geração de energia são modeladas de forma a construir uma análise normalizada, que pode ser replicada para instalações de porte distinto, desde que na mesma região geográfica (Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul). Para tal, foram realizadas medições em uma instalação típica da zona rural de Ijuí.

METODOLOGIA

A partir de dados obtidos em medições realizadas em unidades geradoras de energia fotovoltaica do município de Ijuí, foram coletados valores da geração em quatro estações do ano. A partir dos valores foram realizados ajustes de curvas para a obtenção dos respectivos modelos matemáticos.

Na sequência, para que fosse possível avaliar o consumo de energia em uma propriedade rural do município, foram realizadas medições utilizando um analisador de energia Dranetz HDPQ Visa Plus. Tal como realizado nos dados de geração, a média dos dados de consumo permitiram gerar uma curva normalizada do mesmo, e estes valores foram utilizados para se obter o modelo matemático correspondente.

O ajuste de curvas foi realizado a partir da ferramenta *cftool*, do Matlab. No caso da geração, os dados foram normalizados e a partir deles foram obtidas as equações referentes à cada uma das quatro estações do ano. A partir disso, cada equação foi integrada, no intervalo

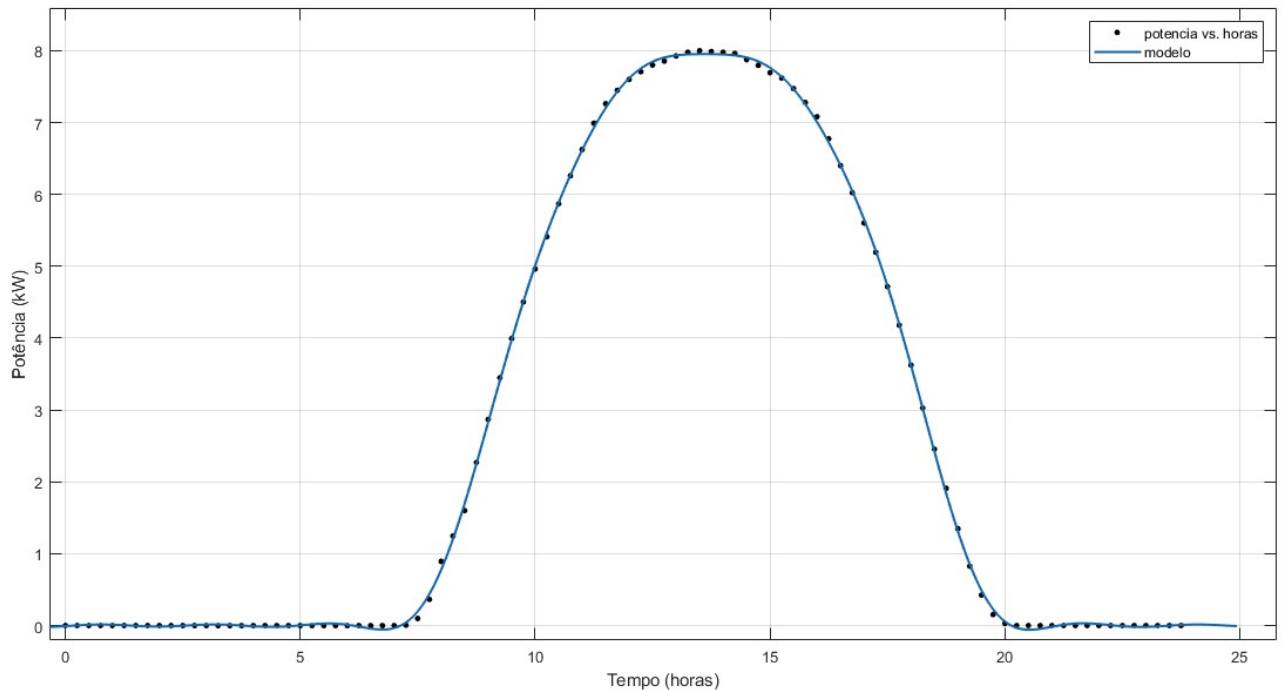


de um dia, a fim de obter-se a área no período, encontrando-se, assim, a geração fotovoltaica e o consumo de interesse correspondente.

MODELAGEM DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Na Figura 1 é apresentada a curva resultante das medições de um sistema de geração fotovoltaica em um dia típico de verão no município de Ijuí.

Figura 1 - Geração de energia fotovoltaica e o resultado da regressão por Fourier.



Fonte: Autor.

O modelo mais adequado para essa representação é a regressão por Fourier, de grau 8. Como pode-se observar também na Figura 1, a resposta resultante da equação que descreve a geração solar em um dia de verão descreve de forma satisfatória o evento estudado. Esta equação é apresentada abaixo:

$$P(t) = a_0 + \sum_{n=1}^8 [a_n \cos(nxw) + b_n \sin(nxw)] \quad (1)$$

Para a equação (1), os coeficientes com 95% de intervalo de confiança são dados por:

$$a_0 = 2,748;$$



$$\begin{aligned}a_1 &= -3,629; \\b_1 &= -2,164; \\a_2 &= 0,7636; \\b_2 &= 1,421; \\a_3 &= -0,005082; \\b_3 &= 0,195; \\a_4 &= 0,2507; \\b_4 &= -0,3708; \\a_5 &= -0,03637; \\b_5 &= 0,00391; \\a_6 &= -0,1137; \\b_6 &= -0,005421; \\a_7 &= -0,01368; \\b_7 &= -0,002524; \\a_8 &= 0,02764; \\b_8 &= 0,05058; \\w &= 0,2693;\end{aligned}$$

Integrando a equação (1), nos limites de 0 a 23, tem-se:

$$G_1(t) = \int_0^{23} a_0 + \sum_{n=1}^8 [a_n \cos(nxw) + b_n \sin(nxw)] \quad (2)$$

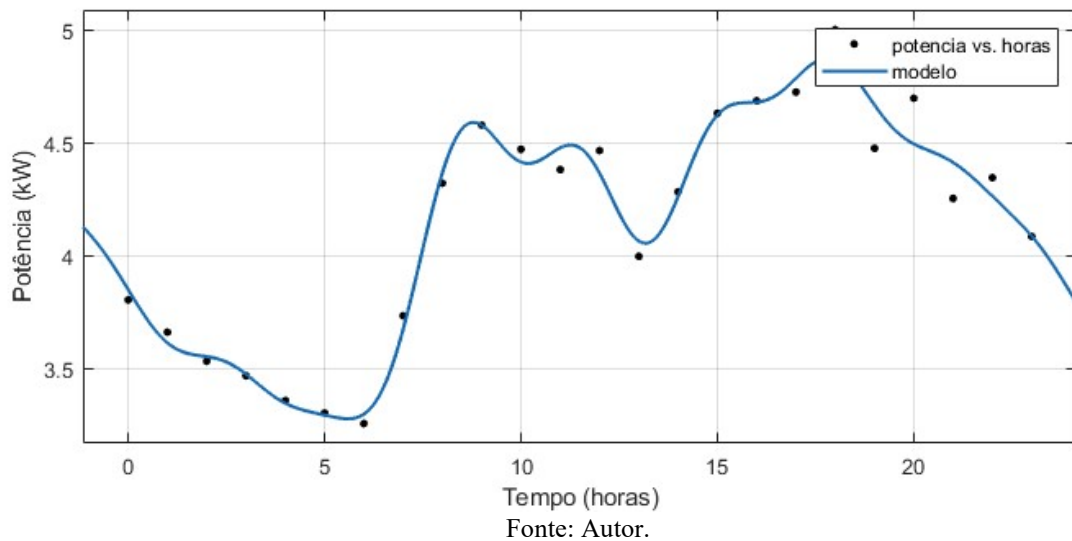
Com base nesses resultados, é possível analisar que a geração fotovoltaica em um dia de verão nessa edificação que será de 64,1196 kW. Da mesma forma que foi obtido o potencial de geração em um dia verão, foi encontrado o valor da geração fotovoltaica em um dia de inverno, 49,1091 kW. Ainda, apenas para fins de registro, usando-se o mesmo método, encontrou-se a geração fotovoltaica para a primavera, 58,0685 kW, e para o outono, 51,4922 kW.

DEMANDA ENERGÉTICA



De forma análoga, foi obtida a equação referente à curva de consumo da propriedade rural. Na Figura 2 é apresentada a curva de dados que representa a demanda energética média, ao longo de um dia, em uma propriedade rural de Ijuí.

Figura 2 - Consumo de energia elétrica e o resultado da regressão por Fourier.



Foram, portanto, medidos ao longo de duas semanas o comportamento do consumo de uma propriedade rural do município de Ijuí. Para os pontos amostrados na curva apresentada na Figura 2 também foi feito a regressão de Fourier apresentada na equação (1), onde os coeficientes são dados por:

- $a_0 = 4,146;$
- $a_1 = -0,3071;$
- $b_1 = -0,5207;$
- $a_2 = -0,02279;$
- $b_2 = -0,2478;$
- $a_3 = 0,1104;$
- $b_3 = 0,1703;$
- $a_4 = -0,08743;$
- $b_4 = -0,04933;$
- $a_5 = -0,01167;$
- $b_5 = -0,04996;$
- $a_6 = 0,03762;$



$$b_6 = -0,02108;$$

$$a_7 = -0,05394;$$

$$b_7 = 0,04492;$$

$$a_8 = 0,03827;$$

$$b_8 = -0,04054;$$

$$w = 0,2625;$$

Para os valores de consumo inicialmente é necessário que seja realizada a integração no período correspondente das 7 às 18 horas. Isso porque este é o horário onde a geração fotovoltaica está ativa, portanto:

$$G_2(t) = \int_7^{18} a_0 + \sum_{n=1}^8 [a_n \cos(n\pi w) + b_n \sin(n\pi w)] \quad (3)$$

A partir disso então tem-se a demanda energética média da propriedade rural, no horário diário de consumo, compreendido entre 7 e 18 horas, que é de 48,9393 kW.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da curva de geração fotovoltaica do verão e do consumo energético característico de uma pequena propriedade rural do noroeste do estado do Rio Grande do Sul pode-se obter a Figura 3. Nessa figura, é possível observar a energia gerada diretamente consumida e a energia excedente.

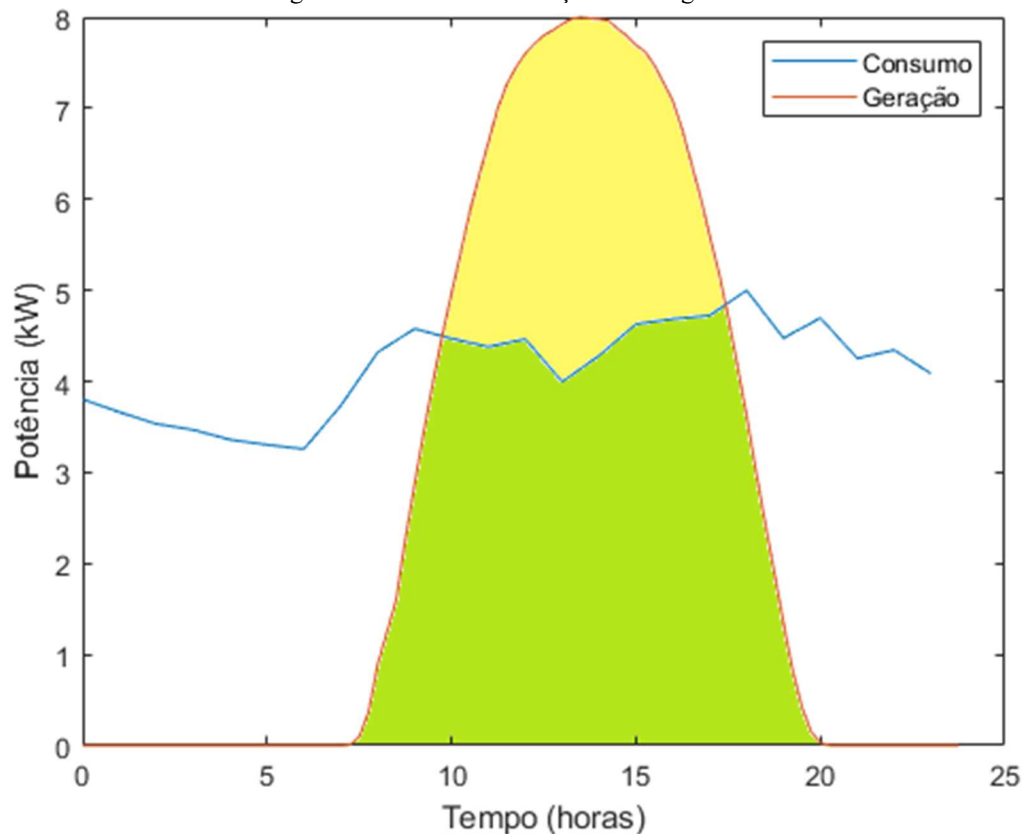
A partir então dos resultados da equação (2) que representa o total de geração de energia em um cenário típico do verão (melhor condição de geração), e portanto, tem-se que a energia gerada é de 64,12 kW. Já como resultado da equação (3) tem-se a quantificação do total de energia elétrica consumida durante o período de geração que é de 49,94 kW. Assim, é possível, pela subtração dos valores respectivos, saber qual a energia excedente:

$$E_{Ex} = E_G - E_C \quad (4)$$

onde, E_{Ex} é a energia excedente, E_G é a energia gerada e E_C é a energia consumida. Portanto, a energia excedente é $64,12 - 49,94 = 15,18$ kW.



Figura 3 - Consumo e Geração de energia elétrica



Fonte: Autor

Na Figura 03 pode-se observar a energia gerada e efetivamente consumida (em verde) e a energia gerada e não é consumida (em amarelo), portanto, em uma instalação rural tradicional, onde normalmente não há possibilidade do despacho da energia (fluxo reverso) para o sistema da distribuidora, essa energia seria desperdiçada. Isso ocorre porque o sistema de proteção da GD desliga o inversor quando a tensão do barramento ultrapassa níveis máximos pré-estabelecidos, para proteger os equipamentos alimentados pelo sistema. Esse fato é comum em trechos denominados "final de rede", o que ocorre frequentemente em instalações de distribuição rural.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentada e modelada matematicamente uma curva típica de geração fotovoltaica da região de Ijuí. Além disso, foi realizado o monitoramento do consumo de uma propriedade rural, e o mesmo também foi modelado para o estudo. Com estas análises,



foi possível quantificar o volume de geração de energia máximo em um dia de verão, bem como, o comportamento médio da geração e da demanda ao longo deste dia.

Com essa análise comprovou-se que existe energia excedente que, em condições normais, seria desperdiçada. Essa energia deve, de alguma forma, ser aproveitada. Assim, como estudos futuros, pretende-se avaliar as alternativas possíveis para o aproveitamento dessa energia. Tudo isso de forma a otimizar e viabilizar a utilização de sistemas fotovoltaicos em pequenas instalações rurais da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SILVA, Adriano J., MUNHOZ, Fernando C. and CORREIA, Paulo B. **Qualidade na utilização de energia elétrica no setor rural: problemas, legislação e alternativas**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. Proceedings online... Disponível em:

<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000200047&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 08 Aug. 2022.

IPCC. SAR Climate Change 1995: Synthesis Report — IPCC. **A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Ipcc.ch. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar2/syr/>>. Acesso em: 8 ago. 2022.

BALDWIN, E.; BRASS, J. N.; CARLEY S. ; MACLEAN, L. M. "**Electrification and rural development: issues of scale in distributed generation**" In. Wires Energy and Environment, Wiley Interdisciplinary Reviews. June, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/wene.>> . Acesso em 04 de agosto de 2022.

ZILLES, R. et al. "**Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede Elétrica**". 1º ed. São Paulo. Oficina de textos, 2012. 208 p. Canal Rural. "Vale a pena investir em energia solar na propriedade rural?". Disponível em: . Acesso em 05 de agosto de 2022.

MANDELLI, S.; BARBIERI, J.; MEREU, R.; COLOMBO, E. "**Off-grid systems for rural electrification in developing countries: Definitions, classification and a comprehensive literature review**", In. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 58, 2016, Pages 1621-1646, ISSN 1364-0321.



BRASIL, ANEEL. **Resolução ANEEL nº 687 de 24 de novembro de 2015**. Disponível em:
<<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em 04 de agosto de 2022.