

AVALIAÇÃO DE WEBSITES BRASILEIROS PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE: PARÂMETROS DE ENTRADA E RESULTADOS

Marina Calcagnotto Mascarello – marinacmascarello@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Engenharia de Energia

Letícia 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 crescimento da busca pela geração distribuída no Brasil, principalmente a partir da energia fotovoltaica tem impulsionado uma expansão do mercado desse setor nos últimos anos. Para auxiliar o consumidor que busca uma solução para geração fotovoltaica, especialmente dos setores residencial e comercial, algumas empresas oferecem em seus websites ferramentas de simulação que, a partir de dados informados pelo usuário, fornecem o dimensionamento prévio de um sistema fotovoltaico, a estimativa de geração de energia e, em alguns casos, o custo aproximado do sistema e o tempo de retorno do investimento. O presente estudo tem como objetivo o mapeamento dos simuladores disponíveis, identificando os parâmetros de entrada e as informações obtidas a partir de cada um deles. Com base em um cenário padrão, foram analisados os resultados dos simuladores através da avaliação da produtividade, Performance Ratio (PR) e preço por unidade de potência. Os resultados de um dos simuladores foram comparados com valores experimentais e de um segundo com aqueles obtidos a partir de simulação realizada no software System Advisor Model (SAM). Foram verificadas semelhanças nos parâmetros de entrada e de saída, com alguns simuladores oferecendo maior nível de detalhamento. A análise dos valores de produtividade e PR mostrou valores aproximados para todas as ferramentas, enquanto a estimativa de preço variou entre R\$5,00/Wp e R\$12,60/Wp. A análise do tempo de retorno foi limitada pela escassez de informações e as comparações das estimativas de produção de energia dos simuladores com um sistema instalado e com a simulação em software apresentou pequenas diferenças. Os resultados de maneira geral são consistentes, o que leva a concluir que simuladores são ferramentas úteis para análises preliminares e podem auxiliar na expansão da geração fotovoltaica em pequena escala no Brasil.*

Palavras-chave: *Simuladores Fotovoltaicos, Energia Solar Fotovoltaica, Dimensionamento de SFCR.*

1. INTRODUÇÃO

A geração distribuída (GD), que consiste em fontes geradoras de energia elétrica conectadas à rede de distribuição, localizadas junto ou próximas à carga, vem ganhando espaço no Brasil nos últimos anos. A Resolução Normativa nº 482 estabeleceu o sistema de *net metering* para sistemas conectados à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras, no qual a medição é feita bidirecionalmente e a energia gerada pode ser convertida em créditos para abatimento na fatura de energia elétrica (ANEEL, 2012). Sua atualização foi a Resolução Normativa nº 687 da ANEEL, que definiu a microgeração distribuída como a central geradora com potência instalada de até 75 kW e a minigeração distribuída como aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW - sendo 3 MW para a fonte hídrica - (ANEEL, 2015). Além disso, veio a conferir maiores benefícios para o produtor e consumidor cativo, como o maior tempo para utilização dos créditos recebidos no Sistema de Compensação de Energia Elétrica e a redução nos prazos máximos para conexão dos sistemas à rede por parte das distribuidoras (ANEEL, 2015). Em Outubro de 2017, o número de conexões de micro e minigeração de energia no Brasil totalizaram em 15151, sendo a fonte mais utilizada pelos consumidores-geradores a energia fotovoltaica, com 15017 adesões (ANEEL, 2017a). Também tem aumentado o número de empresas no setor de energia fotovoltaica, estando constando 1350 empresas cadastradas no Mapa de Empresas do Setor Fotovoltaico do Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina (IDEAL) em 2017. Das 373 empresas entrevistadas no estudo O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica - Edição 2017, 70% tem entre 1 e 3 anos de fundação (IDEAL, 2017).

Dentre a totalidade de unidades consumidoras com geração distribuída registradas na ANEEL em Outubro de 2017, 79% são do setor residencial, que respondem por 31% da potência total instalada, ficando somente atrás do setor comercial, com 37% da potência instalada (ANEEL, 2017b). Considerando que a busca dos consumidores desses setores - em especial os residenciais - pela geração própria de energia ocorre predominantemente pela Internet, verificou-se que são oferecidos simuladores que visam proporcionar estimativas do investimento total e da economia obtida com a instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR). Através de informações fornecidas pelo consumidor, os simuladores apresentam um dimensionamento preliminar de um sistema e alguns ainda fornecem a análise financeira do investimento. O presente estudo visa mapear os simuladores disponíveis, identificar os parâmetros de entrada e os

resultados obtidos da partir de cada um deles. Posteriormente, a partir de um cenário definido como padrão, serão analisados os resultados dos simuladores através da avaliação da produtividade, *Performance Ratio (PR)* e preço por unidade de potência. Um dos simuladores terá seu resultado comparado com valores experimentais e outro com aqueles obtidos de uma simulação realizada no *software System Advisor Model (SAM)*.

2. SIMULADORES SOLARES

2.1. Portal Solar

O primeiro simulador, do site [Portal Solar](#), tem como variáveis de entrada apenas a localização, composta por estado e cidade mais próxima, e consumo mensal da unidade consumidora, em kWh. Esse simulador calcula um sistema que tem a média da geração mensal em um ano igual ao valor do consumo informado. Como resultado é exibida a ficha técnica do gerador, composta pelas informações da potência do sistema fotovoltaico, em kW_p, a quantidade de módulos de uma potência fixada em 260 W_p, a área mínima ocupada pelo sistema, o peso médio por unidade de área, a faixa de preço prevista para o sistema e a geração mensal média de energia, em kWh. Também fornece um gráfico que demonstra a geração em cada mês do ano, que pode ser superior ou inferior ao consumo mensal informado, já que é a média anual da geração mensal que corresponde a 100% do consumo informado pelo usuário. O simulador deixa explícito que o cálculo de produção de energia baseia-se na radiação solar da região selecionada e que diversos fatores como inclinação dos painéis fotovoltaicos, sombras ou outro tipo de interferência podem influenciar na produção de energia do sistema. Outro ponto importante é que esse simulador não fornece nenhum tipo de análise financeira, já que não tem como variável de entrada a tarifa de energia, nem o valor total da conta de energia ou ainda a distribuidora de energia do local.

2.2 Neosolar

Outro simulador analisado foi a Calculadora Solar Fotovoltaica da [Neosolar](#) para sistemas conectados à rede. Para esse simulador é necessário informar o estado e cidade de instalação, além do tipo de local - contendo as opções residencial, empresarial ou outros - de modo que a concessionária de energia e respectivo valor da tarifa são automaticamente preenchidos, existindo a possibilidade de alteração da tarifa. Também deve ser informado o valor da conta de energia da instalação, com valor mínimo igual a R\$100, sendo o consumo médio mensal calculado pela ferramenta. O resultado é dividido em três partes, a primeira relativa ao investimento, mostrando uma estimativa do valor do sistema, a economia mensal e a economia total acumulada em horizonte de 30 anos, mesmo período de tempo de um gráfico que mostra a economia na conta de energia. No gráfico é informado que a inflação considerada é de 8% ao ano. A segunda parte do resultado mostra a estimativa do impacto ambiental do sistema, contendo a redução de CO₂ na atmosfera, em kg, e o equivalente em árvores plantadas e em emissões de um carro, em km rodados. Por último, são indicadas as características do sistema, contemplando a potência do sistema em kW_p, o número de módulos, a produção anual estimada, em kWh, a área necessária para instalação dos sistema e o peso estimado do mesmo.

2.3 América do Sol

Também foi testado o Simulador Solar do site da [América do Sol](#), iniciativa do Instituto para o Desenvolvimento das Energias Alternativas na América Latina (IDEAL), que tem como variáveis de entrada a cidade em que se localiza a residência, o consumo mensal, podendo ser um valor único ou diferenciado para cada mês do ano, o valor da conta de energia elétrica, o tipo de conexão – monofásico, bifásico ou trifásico - e a distribuidora de energia do local. Com as duas últimas informações o simulador identifica o custo de disponibilidade da instalação, que se refere ao valor correspondente ao consumo mínimo a ser pago pelo consumidor. Dessa maneira, o sistema é dimensionado para atender apenas a demanda que exceder o valor mínimo e são fornecidas suas características, contemplando potência nominal, área aproximada ocupada pelo sistema, a inclinação indicada para os módulos - igual à latitude do local de instalação, o rendimento anual, em kWh/kW_p e a quantidade de emissões de CO₂ evitadas. Além disso, é mostrado o consumo anual total, separado nas parcelas da energia gerada pelo sistema fotovoltaico e consumida da rede, além de um gráfico que compara a conta de energia antes e após a inserção do sistema no decorrer de um ano. Também fornece o detalhamento do consumo mensal em gráfico e em tabela e os dados de irradiação empregados nos cálculos, cuja fonte é o INPE/SWERA. Mais precisamente são informados os valores de irradiação global, inclinada e direta anual e também mensal, sendo esses apresentados em gráfico e tabela.

2.4 Enel Soluções

A empresa [Enel Soluções](#) fornece um simulador de energia solar fotovoltaica no qual é necessário informar dados cadastrais previamente, incluindo dados de contato, CPF ou CNPJ, cidade, distribuidora de energia e tipo de conexão. Depois, informa-se o consumo mensal da instalação, sendo o mínimo de 200 kWh, e pode ser escolhido um entre três critérios para o dimensionamento - área máxima para instalação, valor máximo do investimento inicial ou economia de energia pretendida - em % do consumo total. O resultado não é exibido instantaneamente, sendo enviada posteriormente uma proposta para o endereço de *e-mail* informado. Na proposta são apresentados o escopo do projeto, incluindo a

potência do sistema, o número de módulos e a potência de cada um deles, a área necessária, o peso estimado por unidade de área, a quantidade e potência de inversores; a produção mensal e anual estimada; a economia mensal e anual estimadas, assim como o valor da conta de energia antes e depois da instalação do sistema; o tempo de retorno do investimento; os benefícios ambientais, expressos pelas emissões anuais de CO₂ evitadas e também a equivalência em número de árvores preservadas, litros de água economizados e carros a menos. Por fim, é oferecida uma simulação de orçamento, com distintas formas de pagamento e informações sobre garantia, prazos, além da descrição do que está incluso no valor e quais são as responsabilidades do contratante.

2.5 Centrium Energy

No site da empresa [Aldo](#) está disponível o simulador solar da Centrium Energy, no qual o consumidor informa sua localidade, de modo que a irradiância em kWh/m² é automaticamente preenchida, porém, a fonte não é informada. Também são preenchidos pelo usuário os valores de consumo médio mensal, a tarifa de energia praticada no local e a porcentagem de redução no consumo desejada, possibilitando a seleção de valores entre 20% e 100%, em intervalos de 10%. Assim, para considerar o custo de disponibilidade da instalação, o usuário deve selecionar manualmente uma porcentagem de redução que leve em consideração esse valor mínimo. As informações de saída do simulador são a potência do sistema, a área ocupada, o peso sobre o telhado, o valor de massa de CO₂ evitado em emissões, a produção de energia e a economia anual estimadas.

2.6 Payback Solar - WEG

A empresa WEG disponibiliza o aplicativo [Payback Solar](#), para sistemas operacionais Android e iOS, que dimensiona um sistema fotovoltaico e estima o tempo de retorno financeiro do mesmo. Após selecionar estado e cidade, é informada a irradiância em kWh/m² dia, com base nos valores informados pelo INPE. O usuário deve informar a tarifa e valor médio do consumo de energia mensal, para então serem fornecidas a potência e área necessária para o sistema, o tempo de retorno do investimento e o valor total do sistema, cuja fonte informada é o Instituto Ideal. Também há a possibilidade de solicitar orçamento detalhado do sistema e em outra aba podem ser visualizados os detalhes da simulação, que, além de parâmetros já mencionados, inclui o valor da inflação empregado, de 4,5% ao ano; a degradação estimada para o sistema, de 1,1% no primeiro ano e 0,5% ao ano nos anos posteriores; o custo de manutenção, que é de 0,5% do investimento inicial ao ano; e a taxa de rendimento da poupança considerada, de 6,17% ao ano. Na mesma tela é disponibilizado um comparativo do investimento no sistema fotovoltaico com os rendimentos da poupança e um gráfico do retorno do investimento, calculado com base nos valores mencionados.

3 ESTUDO DE CASO

Com o objetivo de comparar os simuladores e analisar os resultados obtidos a partir dos mesmos, determinou-se um cenário padrão, que consiste em uma residência localizada na cidade de Porto Alegre, estado do Rio Grande do Sul. O consumo médio mensal foi baseado nos dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2015, que informou que para o setor residencial do estado do Rio Grande do Sul, o consumo médio mensal por domicílio é de 194 kWh (EPE, 2015). Para facilitar os cálculos, adotou-se o valor de 200 kWh e não foi considerada variação no consumo mensal durante o ano, de modo que o consumo anual total é de 2400 kWh. A tarifa empregada foi da distribuidora local CEEE-D para o consumidor de baixa tensão, residencial convencional em Setembro de 2017, mês em que estava vigente a bandeira amarela (CEEE, 2017). Os valores de impostos são relativos ao mesmo mês, informados pela distribuidora, iguais a 30% para o ICMS - alíquota para consumo acima de 50 kWh - e 2,9461% de PIS e COFINS (CEEE, 2017). Assim, a tarifa calculada, incluindo todos os impostos, é igual a R\$ 0,69, o que resulta em uma conta mensal de R\$ 138. Foi considerada uma instalação bifásica, cujo custo de disponibilidade corresponde a um consumo de 50 kWh (CEEE, 2017), de tal maneira que a redução desejada na conta de energia é de 75%, equivalente a 1800 kWh anuais. Os dados climáticos foram obtidos para a cidade de Porto Alegre em arquivo no formato *epw*, sendo a irradiância diária média no plano com inclinação de 30° - correspondente à latitude do local - igual a 4,56 kWh/m²dia (LABEEE, 2017). Os valores médios de irradiância diária em kWh/m² para cada mês do ano no plano inclinado estão apresentados na Fig. (1).

Para avaliação e comparação dos sistemas dimensionados, foi calculada a produtividade do sistema Y_F para o intervalo de um ano, em kWh/kW_p, que é a relação entre o valor médio da energia entregue à carga no período de tempo determinado e a potência nominal do gerador, conforme Eq. (1) (Zilles, 2012).

$$Y_F = \frac{\int_{t_1}^{t_2} P_{saída} dt}{P_{FV}^0} \quad (1)$$

na qual $P_{saída}$ é a potência gerada pelo sistema, em kW, t_1 e t_2 determinam o intervalo de tempo, em horas, e P_{FV}^0 é a potência nominal do sistema, em kW_p.

Outro parâmetro calculado foi o rendimento global, também conhecido como *Performance Ratio* (PR), de acordo com a Eq. (2) (Zilles, 2012).

$$PR = \frac{Y_F}{\frac{\int_{t_1}^{t_2} H_{t,\beta} dt}{H_{ref}}} \quad (2)$$

na qual Y_F é a produtividade, definida pela Eq. (1), $H_{t,\beta}$ é a irradiância no plano do gerador, em W/m^2 , t_1 e t_2 determinam o intervalo de tempo, em horas, que deve ser o mesmo empregado para o cálculo de Y_F e H_{ref} é a irradiância de referência, igual à $1000 W/m^2$. Como o intervalo de tempo selecionado é um ano, o denominador da Eq.(2) foi substituído pelo número de horas de sol pleno (HSP) incidente no plano do painel fotovoltaico para a cidade de Porto Alegre, igual a 4,56 h - que é a irradiância média diária dividida por $1000 W/m^2$ - multiplicada por 365 dias.

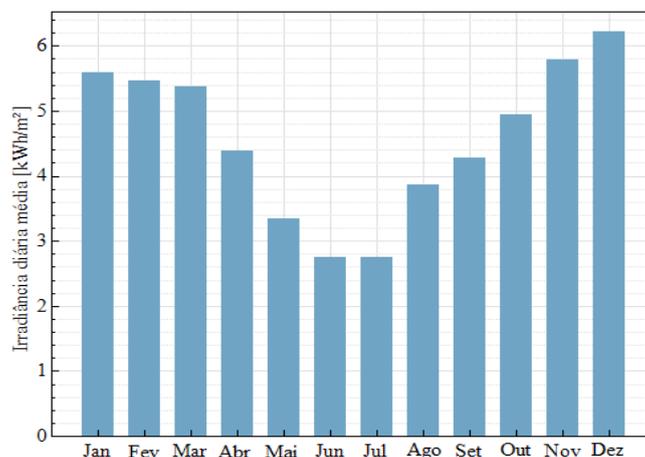


Figura 1- Irradiância diária média, em kWh/m² para a cidade de Porto Alegre no plano com inclinação igual à latitude.

Para os simuladores que apresentaram uma estimativa de preço para o sistema, foram comparados os valores em reais (R\$) por unidade de potência, ou seja, em R\$/W_p. Ressalta-se que em nenhum deles está explícito o que está incluso nessa estimativa, impossibilitando a realização de uma análise aprofundada. Posteriormente, foi calculado o tempo de retorno do investimento através do método do *payback* simples, considerando como receita a economia referente à geração anual estimada, limitada a 1800 kWh ao ano, que é o valor máximo de economia possível, levando em conta o custo de disponibilidade. Para os simuladores que ofereceram uma faixa de estimativa de preço, empregou-se o limite inferior do intervalo como valor inicial do investimento. Quanto aos demais parâmetros, foram aplicados aqueles informados pelos simuladores e, para os não explicitados, adotou-se taxa de inflação de 6% ao ano, que corresponde à meta da inflação de 2017 no limite superior de incerteza (BCB,2015) e desconsiderou-se despesas com manutenção e degradação do sistema

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados

Portal Solar. No simulador do Portal Solar, inseriram-se os parâmetros definidos e os resultados obtidos estão descritos na Tab. 1, tal como o gráfico da geração mensal que está na Fig. 2. Pode-se observar que de Abril a Setembro a geração fica abaixo dos 200 kWh e nos demais meses supera o valor do consumo informado. Esse simulador não leva em consideração os 50 kWh relativos ao custo de disponibilidade, sendo a estimativa de geração anual praticamente igual a 100% do consumo. O tempo de retorno calculado para o investimento foi de 7 anos e 8 meses.

Tabela 1 – Resultado fornecido pelo simulador Portal Solar.

Potência do sistema [kW _p]	1,74
Quantidade de módulos	7 de 260 W _p
Área mínima ocupada pelo sistema [m ²]	13,94
Peso médio por unidade de área [kg/m ²]	15
Preço médio de um gerador fotovoltaico deste tamanho	R\$ 11658,00 – R\$ 14790,00
Geração mensal de energia média [kWh]	200
Geração anual de energia estimada [kWh]	2398

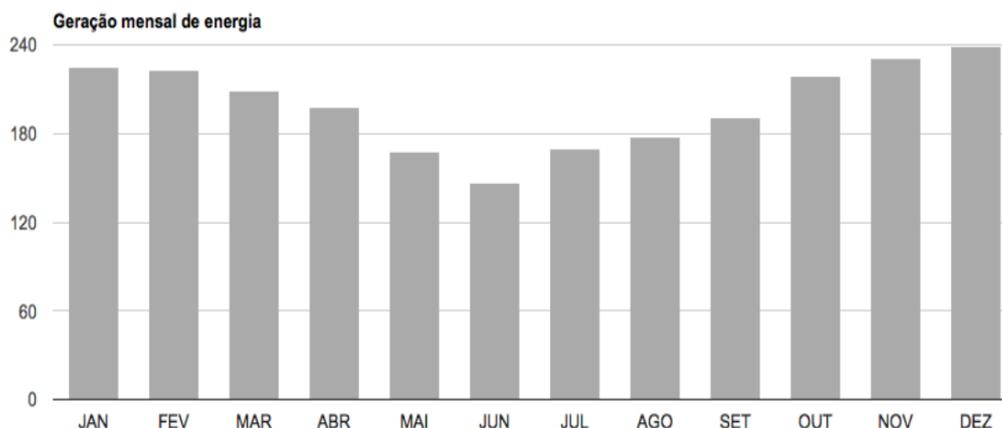


Figura 2 – Geração mensal estimada pelo simulador Portal Solar.

Neosolar. A calculadora solar da Neosolar foi empregada informando unidade consumidora do tipo residencial, da distribuidora CEEE-D e alterando a tarifa para o valor padrão deste estudo. O valor da conta mais próximo possível a ser escolhido no simulador foi de R\$ 136,00, que corresponde a um consumo mensal de 197 kWh. Deste modo, os resultados obtidos são os expressos na Tab. 2. A geração anual corresponde a 73,5% do consumo, o que sugere que esse simulador leva em consideração uma parcela do consumo referente ao custo de disponibilidade. A economia mensal estimada considera que a geração anual divide-se igualmente entre os 12 meses do ano, embora se saiba que a irradiação solar varia durante o ano. Pelo gráfico apresentado na Figura 3, o retorno do investimento se daria em 7 anos, considerando taxa de inflação de 8% ao ano. O cálculo realizado também resultou em um tempo de retorno de 7 anos.

Tabela 2 - Resultado fornecido pelo simulador Neosolar.

Potência do sistema [kW _p]	1,25
Quantidade de módulos	5 de 250 W _p
Área mínima ocupada pelo sistema [m ²]	8,76
Peso estimado [kg]	118,91
Geração anual de energia estimada [kWh]	1765
Estimativa de investimento	R\$ 10889,71 - R\$ 15771,31
Economia mensal	R\$ 101,50
Economia total acumulada em 30 anos	R\$ 108171,30
Redução de CO ₂ na atmosfera [kg]	25294
Número equivalente de árvores plantadas	181
Quilometragem equivalente rodada de carro [km]	230653

América do Sol. O simulador do site América do Sol é o que fornece maior detalhe sobre a produção e o consumo mensal, tal como os dados de irradiação do local selecionado, com as informações expressas tanto em gráficos quanto em tabelas. A Tab. 3 mostra os resultados obtidos e os gráficos das Fig. 4 e Fig. 5 demonstram o detalhamento da conta de energia, cujos valores mensais podem ser observados pelo usuário no site. Verifica-se que o mês de Dezembro, que é o mês com maior irradiação, tem como estimativa de produção exatamente 150 kWh, de modo que o valor da conta é igual ao custo de disponibilidade. Esse comportamento sugere que este seja o critério de dimensionamento empregado pelo simulador, assim está previsto que não haja excedentes de energia em nenhum mês do ano. A geração estimada para este sistema corresponde a 62% do consumo anual, sendo a média da geração mensal igual a 124,6 kWh. Também são apresentados os dados de irradiação de Porto Alegre, conforme pode ser observado no gráfico da Fig.6. A irradiação diária média no plano inclinada é igual a 5,045 kWh/m², 10% acima do valor empregado nos cálculos do presente estudo, já que a fonte é outra. Esse simulador não apresentou estimativa de preço para o sistema, impossibilitando o cálculo do tempo de retorno.



Figura 3 – Fluxo de caixa estimado pelo simulador Neosolar.

Tabela 3 - Resultado fornecido pelo simulador América do Sol.

Potência do sistema [kWp]	1,2
Área ocupada pelo sistema [m ²]	8 - 11
Inclinação aproximada dos módulos	31°
Rendimento anual [kWh/kWp]	1247
Emissões de CO ₂ evitadas [kg/ano]	434
Consumo total anual [kWh]	2400
Consumo da rede elétrica anual [kWh]	904
Geração fotovoltaica anual [kWh]	1495
Redução de CO ₂ na atmosfera [kg]	25294
Número equivalente de árvores plantadas	181
Quilometragem equivalente rodada de carro [km]	230653

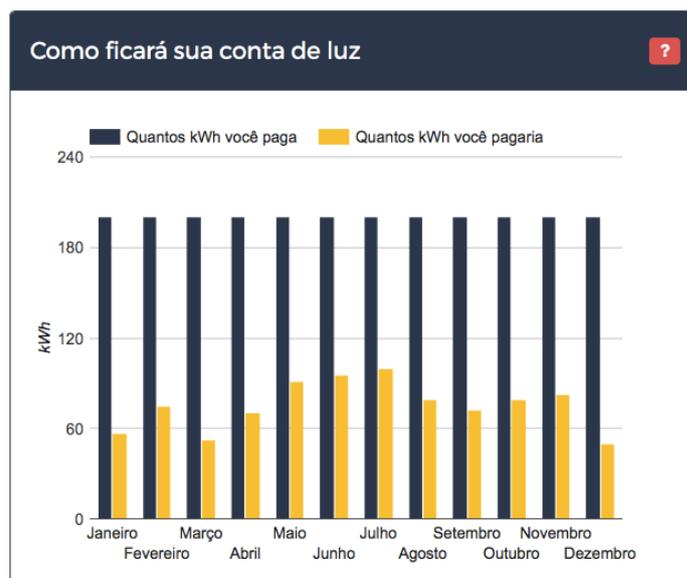


Figura 4 – Gráfico comparativo da conta de energia anterior e posteriormente à instalação do SFCR.

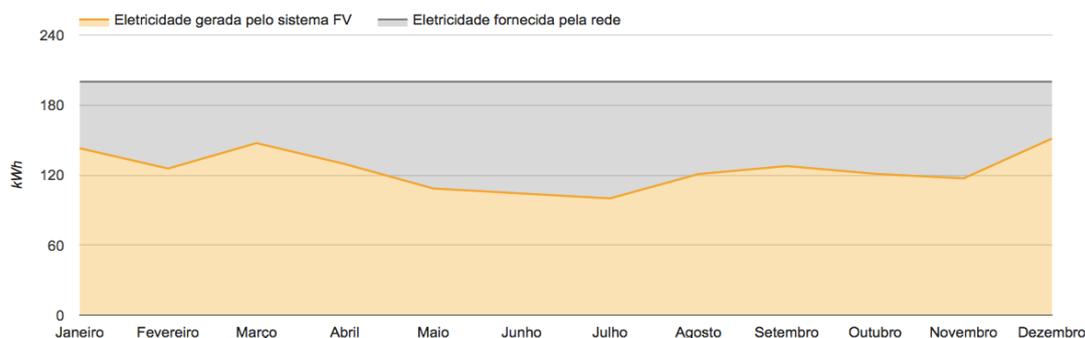


Figura 5- Energia total separada nas parcelas de consumo da rede e geração do SFCR.

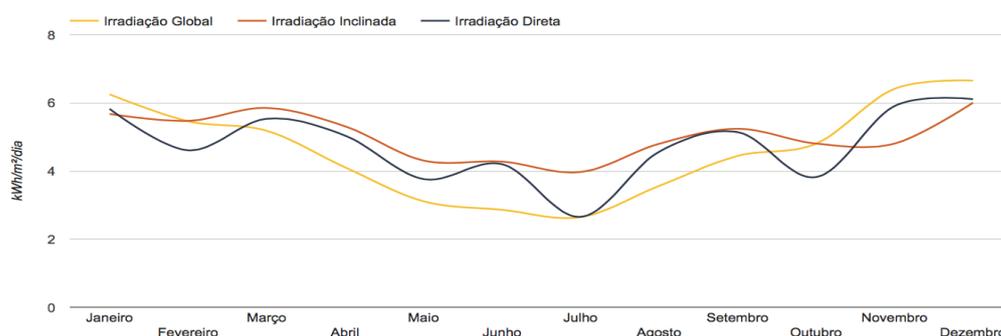


Figura 6- Curvas de irradiação global, direta e inclinada para a cidade de Porto Alegre.

Enel Soluções. Para o teste do simulador da empresa Enel Soluções, foi informada a porcentagem de economia desejada em 70%, de maneira que os dados do sistema e estimativas de geração são apresentados na Tab. 4. A estimativa da geração anual está 27% acima do consumo total anual, porém nos valores monetários verifica-se que a economia foi calculada considerando o custo de disponibilidade a ser pago para a distribuidora e os outros 150 kWh como supridos pelo sistema, o que resulta em uma economia mensal de R\$105,00. Esse comportamento sugere a aplicação de um coeficiente de segurança no dimensionamento, visando garantir a economia desejada, já que a geração depende de fatores climáticos e também há a degradação do sistema ao longo dos anos. O tempo de retorno calculado é de 10 anos e 2 meses. Porém, se empregado o valor correspondente ao total gerado no ano descontado do custo de disponibilidade, a receita anual passaria a ser de R\$1690,50 e o tempo de retorno seria reduzido a 8 anos e 2 meses. Este cenário poderia ser factível caso os créditos obtidos com o excedente de energia fossem empregados em outra unidade consumidora de mesma titularidade e na mesma área de concessão, o que é possível pelo sistema de compensação de energia (ANEEL, 2015).

Tabela 4 - Resultado fornecido pelo simulador da Enel Soluções.

Potência do sistema [kW _p]	2,24
Quantidade de módulos	8 de 280 W _p
Quantidade de inversores	1 de 2 kW
Área mínima ocupada pelo sistema [m ²]	18
Peso estimado por unidade de área [kg/m ²]	17
Geração anual de energia estimada [kWh]	3050
Economia mensal	R\$ 105,00
Valor de energia anual sem energia solar	R\$ 1680,00
Valor de energia anual com energia solar	R\$ 420,00
Investimento	R\$ 17942,72 - R\$ 19936,35
Retorno do investimento (<i>payback</i>)	7 anos
Emissões de CO ₂ evitadas [kg/ano]	415

Centrium Energy. No simulador Centrium Energy também foi possível selecionar a economia desejada de 70% e os resultados obtidos com base no valor de irradiância diária de 4,1 kWh/m² para a cidade de Porto Alegre estão na Tab. 5. Não foi informada estimativa de preço para o sistema, assim, não foi calculado o tempo de retorno do investimento.

Tabela 5 - Resultado fornecido pelo simulador da Centrium Energy.

Potência do sistema [kW _p]	1,14
Área ocupada pelo sistema [m ²]	8,5
Peso sobre o telhado [kg]	127,5
Geração fotovoltaica anual [kWh]	1682,64
Economia anual estimada	R\$ 1159,20
Emissões de CO ₂ evitadas [kg/ano]	464

Payback Solar – WEG. O aplicativo Payback Solar da empresa WEG empregou o valor de irradiância diário de 4,7 kWh/m² para Porto Alegre, de modo a fornecer um dimensionamento básico de um sistema para o consumo informado de 200 kWh mensais. Além das características apresentadas na Tab. 6 também é fornecido um gráfico no qual é possível verificar o tempo de retorno do investimento, de 5 anos e 2 meses, conforme apresentado na Fig. 6. Este simulador não considera o custo de disponibilidade, portanto, a receita estimada corresponde à economia de 2400 kWh anuais. Utilizando os parâmetros informados no aplicativo, foi calculado um tempo de retorno de 5 anos e 2 meses para o investimento. Porém, ao considerar o custo de disponibilidade, a economia é reduzida para 1800 kWh ao ano, o que aumenta o tempo de retorno para 7 anos.

Tabela 6 - Resultado fornecido pelo simulador Payback Solar da Weg.

Potência do sistema [kW _p]	1,89
Área ocupada pelo sistema [m ²]	16
Investimento total	R\$ 9456,26
Tempo de retorno do investimento	5 anos e 2 meses



Figura 6 – Gráfico da análise econômica fornecido pelo simulador Payback Solar.

4.2 Discussões

Para fins de comparação, foram calculados os parâmetros apresentados na Tab.7 para cada um dos simuladores. Verifica-se que os valores de produtividade anual estão entre 1247 e 1476 kWh/ kW_p, sendo a média igual a 1357 kWh/ kW_p, enquanto os valores de PR estão entre 0,75 e 0,89, com média igual a 0,82. Os valores extremos são o do simulador da Centrium Energy, 9% acima da média, e o mais da América do Sol, 8% abaixo da média. Para sistemas fotovoltaicos residenciais conectados à rede bem ventilados e não sombreados, valores típicos de PR para as condições de radiação solar encontradas no Brasil estão entre 70 e 80% (Pinho e Galdino, 2014), de modo que apenas os simuladores da Weg e da América do Sol apresentam PR dentro desta faixa. Ao se tratar do preço do sistema, o valor médio em 2016 para sistemas fotovoltaicos completos de até 5 kW_p foi de R\$7,01/W_p (IDEAL, 2017). Em relação a esse valor, o simulador que mais se aproxima é o do Portal Solar, enquanto os preços estimados pela Neo Solar e Enel são superiores e o da Weg

é inferior. A média de todos os simuladores, considerando o valor médio para os que estimaram uma faixa de preços, é de R\$7,92/W_p

Tabela 7 – Comparativo de parâmetros dos simuladores testados.

Simulador	Produtividade (Y _F) [kWh/ kW _p]	PR	Preço [R\$/W _p]
Portal Solar	1378	0,83	6,70 – 8,50
Neo Solar	1412	0,85	8,70 – 12,60
América do Sol	1247	0,75	-
Enel	1361	0,82	8,00 – 8,90
Centrium Energy	1476	0,89	-
Weg	1270	0,76	5,00

O sistema dimensionado pelo site América do Sol foi selecionado por ser o único em que a produção estimada está detalhada nos meses do ano, possibilitando a comparação com dados experimentais de um sistema de 1,225 kW_p, instalado em Porto Alegre. A energia gerada em 30 dias entre Maio e Junho de 2016 foi de 105 kWh e a irradiação média diária foi de 3,3 kWh/ m², estando o sistema instalado voltado para o Norte, com inclinação de 20° (Possebon, 2016). A estimativa do site América do Sol para o mês de Maio é de 108,5 kWh e para Junho é de 104,2 kWh, porém com irradiação média diária respectivamente de 4,31 e 4,28 kWh/m², considerando inclinação de 31°. Apesar de ter empregado valores mais altos para a irradiação diária nos cálculos, a estimativa da geração é muito próxima à energia gerada obtida experimentalmente, sendo a média da estimativa dos dois meses apenas 1,3% superior a esse valor.

Para simular no *software* SAM foi selecionado o sistema de 2,24 kW_p dimensionado pela Enel, por ser o único cuja potência do inversor foi informada. Foi considerada eficiência do inversor igual a 96%, sistema voltado para o Norte, com inclinação de 30° e demais perdas conforme padrão do software, totalizando 14% de perdas. Assim, a energia total estimada para o primeiro ano é de 2819 kWh, 7,6% abaixo do estimado pelo simulador, mas ainda 17% acima do consumo total anual. Assim, a produtividade obtida é de 1258,5 kWh/kW_p e o PR é igual à 0,76.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo foi proposto com o objetivo de identificar os simuladores de sistemas fotovoltaicos, que são destinados principalmente ao consumidor leigo, identificando os parâmetros de entrada e os resultados obtidos da partir de cada um deles. Verificou-se que os parâmetros de entrada são similares, porém, alguns oferecem a possibilidade de selecionar a economia desejada ou ainda outro critério limitador, como área ou investimento inicial. O dimensionamento resultou em sistemas de distintas potências, porém, somente um estimou produção anual que supera o consumo da unidade consumidora. Identificou-se que nem todos os simuladores levaram em consideração o custo de disponibilidade, fator que impacta tanto o dimensionamento quanto o valor da economia obtida com o sistema. Também foi observado que muitos dos simuladores possuem uma abordagem voltada para o impacto ambiental, com o objetivo de destacar os pontos positivos da geração de energia renovável através de equivalências para a quantidade de emissões de CO₂ evitadas. A análise dos valores de produtividade e PR mostrou valores aproximados para todos os simuladores, estando os valores extremos encontrados 9% acima e 8% abaixo da média.

Em relação à parte financeira, dois simuladores não informaram estimativa de preço para o sistema, focando apenas nas características técnicas. Os demais apresentaram diferentes estimativas para o preço, variando entre R\$5,00/W_p e R\$12,60/W_p, com média igual a R\$7,92/W_p. Dos simuladores que apresentaram o tempo de retorno do investimento, a maior parte não explicitou os fatores empregados para o cálculo, o que dificulta uma análise mais aprofundada, já que podem ser empregados diferentes métodos e parâmetros que impactam no resultado final.

As estimativas de produção de energia dos simuladores apresentaram pequenas diferenças em comparação a um sistema instalado e ao resultado de uma simulação em *software*, sendo estas atribuídas a diferenças nos dados de irradiação e valores de perdas e eficiências considerados.

Conclui-se que os simuladores disponíveis empregam em seus cálculos critérios de dimensionamento e dados distintos, consequentemente os resultados são diferentes, porém, consistentes. Os simuladores são ferramentas úteis para uma abordagem preliminar e podem auxiliar a aumentar o alcance da energia fotovoltaica, trazendo informações de grande valia ao consumidor interessado em minigeração.

REFERÊNCIAS

- América do Sol. Simulador Solar. Disponível em < <http://www.americadosol.org/simulador/>>. Acesso em 15 de Setembro de 2017.
- Aldo. Simulador Solar Centrium Energy. Disponível em < <https://www.aldo.com.br/CotacaoExpress/SimuladorSolar.aspx>>. Acesso em 15 de Setembro de 2017.

- ANEEL, 2015. Resolução Normativa n° 687. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em 12 de Novembro de 2017.
- ANEEL, 2012. Resolução Normativa n° 482. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>>. Acesso em 12 de Novembro de 2017.
- ANEEL, 2017 a Unidades Consumidoras com Geração Distribuída. Disponível em:<http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp>. Acesso em 12 de Novembro de 2017.
- ANEEL, 2017 b Unidades Consumidoras com Geração Distribuída. Disponível em:<http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Classe.asp>. Acesso em 12 de Novembro de 2017.
- BCB, 2015. Resolução n° 4419. Disponível em <http://www.bcb.gov.br/pre/normativos/busca/downloadNormativo.asp?arquivo=/Lists/Normativos/Attachments/48527/Res_4419_v1_O.pdf>. Acesso em 15 de Setembro de 2017.
- CEEE - Custos e Tarifas. Disponível em:<<http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/Controller.aspx?CC=1782>>. Acesso em 15 de Setembro de 2017.
- Enel Soluções. Simule sua economia com Energia Solar. Disponível em:<<https://www.enelsolucoes.com.br/atendimento/#/modal-simule>>. Acesso em 15 de Setembro de 2017.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2015. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015. Disponível em:<<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202015.pdf>>. Acesso em 12 de Novembro de 2017.
- IDEAL - Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina, 2017. O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica – Edição 2017. Disponível em: <https://issuu.com/idealeco_logicas/docs/estudoidealmercadofv2017_web>. Acesso em 12 de Novembro de 2017.
- LABEEE - UFSC. Arquivos climáticos em formato TRY, SWERA, CSV e BIN. Disponível em:<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/porto_alegre_epw_stat.zip>. Acesso em 12 de Novembro de 2017.
- Neosolar. Simulador solar - calculadora solar fotovoltaica. Disponível em:<<https://www.neosolar.com.br/simulador-solar-calculadora-fotovoltaica>>. Acesso em 15 de Setembro de 2017.
- Pinho, J.T. e Galdino, M.A, 2014. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Grupo de Trabalho de Energia solar – GTES. CEPEL – DTE – CRESESB.
- Possebon, R.; 2016. Avaliação do Desempenho de um Arranjo Fotovoltaico Para Uma Residência Típica no Sul do País. 2016. 27f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Portal Solar. Simulador Solar. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/calculo-solar>>. Acesso em 15 de Setembro de 2017.
- Zilles,R. et al, 2012. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica. São Paulo.
- WEG. Aplicativo Payback Solar. Disponível em:<<http://www.weg.net/institucional/BR/pt/news/produtos-e-solucoes/conheca-o-payback-weg>>. Acesso em 15 de Setembro de 2017.

EVALUATION OF BRASILIAN WEBSITES FOR SIMULATION OF PV ON-GRID SYSTEMS: INPUT PARAMETERS AND RESULTS.

Abstract. *The increasing search for decentralized energy in Brazil, especially from the photovoltaic source, has expanded the market of the sector in the past few years. To aid the customer who is searching for a solution in photovoltaic generation, in particular from the commercial and residential sectors, some companies offer online tools which, by means of customer given data, provide the sizing of a PV system, as well as the estimated energy generation and, in some cases, the estimated cost and the investment payback time. This work aims to identify the available tools and its respective input parameters and output information. Based on a defined scenario, it was conducted the evaluation of the results given by each simulation tool through the analysis of productivity, performance ratio (PR) and cost per peak power unit. One of the simulators had its results compared to experimental data and another one to a simulation carried out with the software System Advisor Model (SAM). Similarities between the inputs and outputs were identified for all tools, being some more detailed than others. The analysis of productivity and PR revealed not very distinct values for all tools, while the estimated costs have floated between R\$5,00/W_p and R\$12,60/W_p. The investment's payback time analysis was limited by lack of information and the comparison of the estimated energy generation values presented small differences. The results are consistent, which leads to the conclusion that the simulation tools available are useful for preliminary analysis and can be of great help for the expansion of small scale PV energy generation in Brazil*

Key words: *Photovoltaic Simulation, Solar Energy, PV On-Grid Systems Dimensioning.*