

ANÁLISE DE IMPACTOS TÉCNICO E SOCIAL DA UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO DISTRITO FEDERAL

Márcio Aparecido Oliveira Rodrigues – marciorodrigues010@hotmail.com

Rafael Amaral Shayani – shayani@ene.unb.br

Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira – mago@ene.unb.br

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Elétrica

Resumo. *O projeto de pesquisa tem como objetivo analisar o impacto que a energia solar fotovoltaica trará para o Distrito Federal (DF) nas dimensões técnica e social, devido essa ser uma região com grande potencial na produção de energia solar. Na dimensão técnica foi estudado o potencial fotovoltaico do DF. Para a análise, foi modelado um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica de 1,5 quilowatt pico (kWp). Com o auxílio de um software, esse sistema foi simulado em diversas cidades do mundo, que apresentavam diferentes condições de irradiância e temperatura em relação a Brasília. Por fim, foi observado o quão produtivo era esse sistema em Brasília, comparando com as outras cidades. Na dimensão social foi analisada a geração de empregos advindos da energia solar fotovoltaica na geração distribuída (GD). Para isso, foram traçados dois cenários, um conservador e um otimista, em relação ao crescimento da energia fotovoltaica no Brasil e no DF até 2050. A partir desses cenários, foram obtidas estimativas da quantidade de empregos que serão gerados até esse ano.*

Palavras-chave: Energia solar, potencial fotovoltaico, geração de empregos.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, quase toda a eletricidade consumida no DF não é gerada nele (EPE, 2016). A região é abastecida principalmente por hidrelétricas, que por sua vez, estão sofrendo com as flutuações do clima, o que evidencia um futuro risco energético caso não ocorra uma diversificação da matriz elétrica brasileira. Em contrapartida, o DF possui características climáticas interessantes para a aplicação da energia fotovoltaica, visto que o nível médio de irradiância está acima da média nacional (INPE, 2006).

Considerando de um lado, os cenários climáticos (de aumento de temperatura e diminuição de precipitação) e hidrológicos (de escassez hídrica) e, do outro lado os elevados índices de radiação em todo o território brasiliense (PBMC, 2015), a energia solar fotovoltaica surge como uma interessante alternativa, podendo ser utilizada para a diminuição da vulnerabilidade da matriz energética do DF devido aos impactos ambientais.

Outra vantagem da energia solar é a sua capacidade de ser utilizada de forma distribuída, promovendo o desenvolvimento social e econômico em todas as regiões e evitando gastos e impactos ambientais com linhas de transmissão. Estes sistemas distribuídos e interligados à rede elétrica convencional utilizam painéis solares para atender à demanda energética de um edifício ou de uma residência, em conjunto com a rede elétrica. Quando a energia solar é superior ao consumo, o excedente é injetado na rede e, caso seja inferior, é complementado pelo sistema interligado (WWF-Brasil, 2016).

O presente trabalho tem como objetivo analisar o impacto que a energia solar fotovoltaica trará para o DF nas dimensões técnica e social, devido essa ser uma região com grande potencial na produção de energia solar, além de ser o centro político e, portanto, possuir grande visibilidade no cenário nacional.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mudanças Climáticas

As mudanças climáticas constituem uma séria ameaça aos esforços para o desenvolvimento sustentável e para a redução da pobreza no planeta. Segundo o relatório do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), os cenários climáticos futuros sugerem um aumento dos eventos extremos de secas e estiagens prolongadas, principalmente nos biomas da Amazônia, Cerrado e Caatinga, sendo que tais mudanças acentuam-se a partir da metade e final do século XXI. As projeções indicam diminuição significativa das chuvas em grande parte do Centro-Norte-Nordeste do território brasileiro. No que se refere à temperatura do ar na superfície, todas as projeções indicam condições de clima futuro mais quente (PBMC, 2015). Especificamente no cerrado, aponta-se um aumento de 1°C na temperatura superficial com diminuição percentual entre 10% a 20% da chuva durante as próximas três décadas (até 2040). Em meados do século (2041-2070) estima-se aumento entre 3° a 3,5°C da temperatura do ar e redução entre 20% e 35% da chuva. No final do século (2071-2100) o aumento de temperatura pode atingir valores entre 5° e 5,5°C e a diminuição da chuva será mais crítica, entre 35% e 45%, com acentuação das variações sazonais (PBMC, 2015). A redução das chuvas afeta diretamente a geração hidrelétrica; as bacias das regiões Sul e Sudeste correspondem a 80% da capacidade instalada brasileira. A não estacionariedade das séries de vazões pode ter impacto significativo no cálculo da energia assegurada.

2.2 Abastecimento e consumo da energia elétrica no DF

Somente em 2015, no DF, foram consumidos 6648 GWh, enquanto que apenas 119 GWh foram gerados na região (EPE, 2016). Além disso, a matriz energética do DF é majoritariamente hidrelétrica, Furnas e Itaipu, que por sua vez estão sofrendo com as flutuações do clima, que colocam a oferta de energia de base hidrológica em risco, impondo aumento no custo, escassez e apagões mais frequentes.

É, portanto, devido a essa dependência que o DF está mais susceptível aos efeitos das mudanças climáticas, visto que com pequenas flutuações no clima já é possível causar significativos impactos sociais e econômicos. Por isso, é possível presumir a existência de um risco no cenário energético brasileiro caso não ocorra uma diversificação da sua matriz elétrica incluindo uma diminuição dessa dependência em relação às fontes hídricas.

2.3 Recurso Solar do Brasil e do DF

O Brasil, por ser um país localizado na sua maior parte na região intertropical, possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todo ano. Apesar das diferentes características climáticas observadas no Brasil, pode-se observar que a média anual de irradiação global apresenta boa uniformidade, com médias anuais relativamente altas em todo país. De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar, publicado pelo INPE, a irradiação solar média diária no Brasil varia entre 4,1 e 6,5 quilowatt hora por metro quadrado ($\text{kWh/m}^2/\text{dia}$), enquanto que os valores de irradiação solar global incidente no território brasileiro ($1500\text{-}2500 \text{ kWh/m}^2/\text{ano}$) são superiores aos da maioria dos países da União Europeia, como Alemanha ($900\text{-}1250 \text{ kWh/m}^2/\text{ano}$), França ($900\text{-}1650 \text{ kWh/m}^2/\text{ano}$) e Espanha ($1200\text{-}1850 \text{ kWh/m}^2/\text{ano}$), onde projetos para aproveitamento de recursos solares, alguns contando com fortes incentivos governamentais, são amplamente disseminados (INPE, 2006).

No Brasil, a região que mais possui recurso solar é o Nordeste com irradiação global diária média de $5,9 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$ e $6,1 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$. Comparando com o DF, constata-se que a sua irradiação global diária média situa-se entre $5,25 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$ e $5,95 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$, (INPE, 2006). Além disso, a sua temperatura média do ar é em torno de $23,84 \text{ }^\circ\text{C}$, uma temperatura média inferior à da região Nordeste, e seus índices de nebulosidade e pluviometria são baixos (ABSOLAR, 2015); tais parâmetros são favoráveis à implementação e ao bom desempenho de sistemas de geração solar fotovoltaica.

2.4 Módulos Fotovoltaicos

A energia fotovoltaica utiliza células solares que, quando interligadas e encapsuladas, formam o módulo fotovoltaico, que por sua vez, é responsável pela geração de energia. Também utiliza-se o inversor CC-CA para transformar a tensão e frequência para os valores nominais dos aparelhos. Essa geração ocorre sem emissão de gases poluentes ou ruídos e com uma necessidade mínima de manutenção.

Devido à existência de diferentes tecnologias envolvendo a produção de células solares, existem diferentes tipos de placas, mas os módulos que utilizam como base o *wafer* de silício (*Si-wafer*) são os mais comumente encontrados no mercado. Além disso, ao longo dos últimos 10 anos a eficiência média das placas solares de silício comercialmente encontradas aumentaram de 12% para 17% (FRAUNHOFER ISE, 2016).

As placas solares são caracterizadas por suas curvas características de corrente *versus* tensão e de potência *versus* tensão e pelos seus dados nominais. Os parâmetros de tensão de circuito aberto (V_{oc}), corrente de curto-circuito (I_{sc}), tensão de máxima potência (V_{mp}) e corrente de máxima potência (I_{mp}) definem as características da placa utilizada (CRESESB, 2014). As curvas características do módulo são resultantes das curvas características das células solares e relacionadas ao modo como as células são eletricamente conectadas, em série ou em paralelo.

Através das curvas características de módulos solares, fornecidas por seus fabricantes, é possível identificar seu ponto de máxima potência (esse ponto se encontra no joelho da curva característica de corrente *versus* tensão) bem como a influência de alguns fatores como temperatura e nível de irradiação na corrente e na tensão produzidas pelos módulos.

Níveis maiores de irradiação incidente sobre o painel o levarão a produzir correntes mais elevadas; a tensão de saída do módulo, no entanto, não é muito afetada pela variação nos níveis de irradiação. Em contrapartida, a temperatura ambiente mais elevada afetará mais intensamente a tensão gerada pelos módulos, que diminui com o aumento da temperatura, enquanto que a corrente produzida aumenta, mas em uma proporção menor que a variação da tensão.

2.5 Inversores

Inversores são equipamentos necessários aos sistemas fotovoltaicos para converter a energia elétrica gerada pelo módulo fotovoltaico, uma fonte contínua, em energia elétrica com corrente alternada. Adicionalmente, esses equipamentos garantem que a tensão alternada de saída tenha amplitude, frequência e conteúdo harmônico compatível com a carga a ser alimentada (CRESESB, 2014).

Existe uma variedade de tipos de inversores, dentre eles os que atendem sistemas isolados (SFI) e os que são adequados para conexão à rede elétrica (SFCR). Para essa última categoria, a tensão de saída deve ser sincronizada com

a tensão de rede e os equipamentos devem atender às exigências das concessionárias de distribuição em termos de segurança e qualidade de energia injetada na rede (CRESESB, 2014).

2.6 Geração de empregos no setor renovável no mundo

O setor de energia renovável mundial empregou 8,1 milhões de pessoas, diretamente ou indiretamente, em 2015, nesse setor inclui fontes como a solar fotovoltaica, biocombustíveis líquido, eólica, aquecimento solar, biomassa, biogás hidrelétricas pequenas energia geotérmica e energia solar concentrada. A redução dos custos no setor fotovoltaico tem conduzido um aumento do consumo na geração distribuída, aumentando a criação de empregos. Globalmente, as instalações fotovoltaicas tiveram em 2015 um acréscimo de 20% em relação ao ano anterior, com a China, o Japão e os Estados Unidos na liderança. Consequentemente, o setor fotovoltaico foi novamente o maior empregador de energia renovável com 2,8 milhões de empregos em 2015, um aumento de 11% em relação ao ano anterior (IRENA, 2016).

A China foi o principal empregador de energia solar fotovoltaica, com 1,7 milhão de empregos em 2015, devido à sua liderança tanto na fabricação quanto nas instalações. No Japão, houve um aumento de 28% para chegar a 377.100 postos de trabalho em 2014. Nos Estados Unidos, altas taxas de implantação trouxeram criação de emprego para níveis recorde. Em contrapartida, o emprego no setor fotovoltaico na União Europeia (UE) caiu 13% em 2014, principalmente devido a uma diminuição na fabricação. A Índia surgiu como um importante mercado em grande e pequena escala. A região testemunhou o crescimento de empregos no processo de fabricação na Malásia e na República da Coreia e, no processo de instalação, no Paquistão (IRENA, 2016).

2.7 Capacidade instalada em micro e minigeração distribuída no Brasil e no DF

Até julho de 2017 a potência instalada em micro e minigeração distribuída ultrapassou mais de 12 mil instalações no Brasil. Atualmente, são 12363 micro e mini usinas que possuem potência instalada de 140.171,6 kW. A fonte mais utilizada pelos consumidores-geradores é a solar com 12.241 adesões. O estado com o maior número de micro e minigeradores é Minas Gerais (2.635 conexões), seguido de São Paulo (2.507) e Rio Grande do Sul (1.392). O DF possui 207 conexões em micro e minigeração sendo 1.707,37 kW em potência instalada (ANEEL, 2017).

3. METODOLOGIA

3.1 Dimensão Técnica

O método adotado para essa dimensão pode ser dividido em três etapas. A primeira etapa trata da modelagem de um sistema fotovoltaico que seja equivalente ao consumo médio de uma unidade consumidora residencial brasileira. Para isso, foram determinados os parâmetros da sua potência nominal, modelo do módulo fotovoltaico, tipo de conexão entre os módulos e seu respectivo inversor. A segunda etapa é referente a aplicação do modelo desenvolvido na primeira etapa em diversas localidades, para isso, foi utilizando o software PVsyst. Por fim, na terceira etapa é realizado a comparação dos dados obtidos da energia gerada pelo sistema para cada cidade na qual foi feita a simulação, essa comparação foi realizada utilizando os dados que foram obtidos em Brasília como referência.

As variáveis de interesse, que são diferentes em cada localidade, são a irradiância e a temperatura, de modo que o objetivo é observar se o sistema se torna mais ou menos eficiente quando colocado em Brasília do que em outra cidade. Portanto, qualquer outro parâmetro foi colocado de forma que não afetasse os resultados.

A escolha do tamanho do sistema fotovoltaico foi baseado no consumo médio de uma unidade consumidora residencial de Brasília, que é aproximadamente 215 quilowatt hora por mês (kWh/mês) (EPE, 2016). Por questões didáticas, foi considerado no estudo um sistema de 1,5 kWp, que gera aproximadamente 200 kWh/mês.

O módulo fotovoltaico escolhido foi o da Yingli Solar YL250P-29b, se trata de um módulo de silício policristalino com eficiência de 15,4% e potência nominal de 250 Wp (Yingli Solar, Datasheet YL250P-29b). Para obter os 1,5 kWp de potência nominal, foi determinado que seriam necessário seis painéis e que eles seriam colocados em série. A área que os painéis ocupariam seria de 9,7 m². O inversor escolhido foi o da Fronius Galvo 1.5-1 / 220, com potência nominal de 1,5 kW e eficiência máxima de 95,9% (Fronius, Datasheet Galvo 1.5-1 / 220). Para esse sistema foi observado a necessidade de utilizar somente um inversor.

Modelado o sistema, a segunda etapa corresponde a inserção desses dados no PVsyst e a simulação desse sistema para várias cidades. É importante ressaltar que, as variáveis de interesse são a irradiância e a temperatura, portanto os ângulos orientação dos painéis foram otimizados de forma individual para cada cidade, de modo que o sistema sempre produzisse o máximo possível. Essa otimização é feita no próprio *software*, de modo que é possível escolher os ângulos de orientação e o programa retorna quanto o painel receberá de irradiância em média e quantos por cento ele terá de perdas devido a otimização, mas como o sistema foi adaptado individualmente para cada cidade, perdas desse tipo serão desconsideradas. Além disso, o sombreamento e a existência de qualquer obstáculo que atrapalhasse a produção de energia foram desconsiderados.

Perdas de qualquer outro tipo foram consideradas iguais para todas as cidades. As perdas térmicas foram consideradas que os módulos sejam semi-integrados à uma construção mas tenham um duto para circulação de ar na parte traseira. As

perdas ôhmicas inclui as perdas com queda de tensão tanto do lado DC (conexão entre as placas e do arranjo com os inversores) quanto do lado AC (conexão dos inversores com o ponto de injeção da energia gerada). O programa sugere como padrão, uma perda de 1,5% no cabeamento DC e foi o valor utilizado na simulação. A perda do lado AC pode ser calculada pelo programa inserindo-se o comprimento dos cabos e a seção transversal, essa perda foi desconsiderada. Na qualidade do módulo foram usadas as especificações do painel que traz um fator de tolerância sobre a potência nominal do equipamento, foi utilizado um valor de -0,8%. A degradação pela luz, ou *Light Induced Degradation* (LID) é uma queda na performance de módulos cristalinos que ocorre nas primeiras horas de exposição ao sol no dia, foi utilizado um valor de 1,3%. A incompatibilidade é devido a forma que os painéis foram conectados, como é uma fileira de módulos em série, a corrente passa a ser ditada pelo módulo que está gerando a menor corrente. Essa incompatibilidade pode resultar do processo de fabricação do módulo que acaba por gerar módulos com características não exatamente iguais, portanto, foi utilizado um valor de 2,5%. O acúmulo de sujeira é relativo às condições climáticas e de poluição do local e também à frequência da manutenção e da limpeza que é dada ao sistema, portanto, essa perda foi desconsiderada.

O Ângulo de Incidência da Irradiância (IAM) corresponde às perdas que ocorrem com as mudanças de ângulo de incidência quando a luz atravessa as camadas protetoras do módulo até atingir as células solares, portanto essa perda ocorre diferentemente para cada localidade, visto que cada um possui orientações diferentes. Por isso, essa foi uma perda variável na análise, mas o IAM possui pouca influência no rendimento total do sistema, visto que nas cidades analisadas, a maior variação observada foi de 0,6% em relação ao IAM de Brasília.

Após entrar com todas as informações de localidade, dados meteorológicos, inclinação e orientação dos painéis, dimensionamento do arranjo, escolha dos equipamentos e valores para as perdas, o PVsyst pode simular o funcionamento do sistema para todas as horas de um ano e retornar um relatório contendo os principais resultados e os parâmetros inseridos no programa.

Após a simulação o PVsyst disponibiliza um relatório com os seguintes resultados:

- Gráfico da Produção Normalizada de Energia (quociente entre a energia produzida pelo sistema e a potência nominal do arranjo);
- Gráfico da Razão de Performance do sistema (*Performance Ratio*, razão entre a geração efetiva do sistema e a geração de referência do arranjo, baseada na potência nominal);
- Tabela contendo os valores mensais para:
 - *GHI* - irradiação global horizontal (kWh/m²);
 - *DHI* - irradiação horizontal difusa (kWh/m²);
 - *T Amb* - Temperatura ambiente (°C);
 - *GlobInc* - Irradiação global sobre o plano inclinado em que os módulos serão instalados (kWh/m²);
 - *GlobEff* - Irradiação global efetiva (após a correção que considera as perdas por IAM e sombreamento) (kWh/m²);
 - *EArray* - Energia gerada pelo arranjo (kWh);
 - *E_Grid* - Energia injetada na rede (considera as perdas na condução e a queda de eficiência dos inversores) (kWh);
 - *PR* - Performance Ratio;
- Diagrama de perdas

Por fim, a terceira etapa consiste na análise do quão produtivo esse sistema foi em Brasília quando comparado às outras cidades. A comparação se limitou ao *GHI*, ao *T Amb* e ao *E_Grid*. Para realizar a comparação, os dados Brasília foram tomados como referência, ou seja, a análise não foi feita entre os dados brutos (*GHI versus GHI* ou *T Amb versus T Amb* ou *E_Grid versus E_Grid*), mas sim entre a diferença percentual de cada variável em relação à Brasília (% *versus* %). Dessa forma a análise fica mais simples, visto que as variáveis não terão unidades e escalas diferentes, de modo que podem ser colocadas no mesmo gráfico para a realização da análise.

3.2 Dimensão Social

O método utilizado nessa dimensão considera estimativas de crescimento que foram baseadas no cenário atual e nas previsões futuras de crescimento do consumo no setor fotovoltaico. Para traçar essa estimativa, foi-se obtido os dados de potência instalada na micro e minigeração do setor fotovoltaico referentes a cada ano até o ano 2017. O marco zero utilizado foi o ano de 2012, visto que esse foi o primeiro ano no qual se verificou uma significativa potência instalada. Os anos seguintes foram traçados de forma crescente, sendo que o ano de 2017 foram utilizados os dados obtidos até o mês de julho (ABSOLAR, 2017, ANEEL, 2017).

Para determinar a linha de tendência de crescimento, foi necessário determinar um marco final, que no caso foi o ano de 2050. Esse ano foi escolhido pois, segundo a EPE na Calculadora Brasil 2050, o setor fotovoltaico poderá crescer de duas maneiras dependendo da quantidade de incentivos que forem fornecidos para esse setor, e por isso foram traçados dois cenários, que são:

- Cenário conservador: Pequeno esforço para adição de oferta e redução da demanda.
- Cenário otimista: Significativo esforço para adição de oferta e redução da demanda.

No cenário conservador, é previsto que até 2050 haverá 44 giga watt pico (GWp) de potência instalada no setor fotovoltaico, sendo 6,4 GWp em sistemas centralizados e 37 GWp em sistemas de GD. Já no cenário otimista, espera-se um total de 124 GWp em capacidade instalada, sendo 51 GWp em geração centralizada e 73 GWp em GD (EPE, 2017). É importante ressaltar que as linhas de tendência foram feitas somente para geração distribuída, ou seja, nas instalações de micro e minigeração. Na Tabela 1 estão os dados utilizados na determinação dos dois cenários de crescimento.

O passo seguinte consiste em determinar como o crescimento do setor fotovoltaico no Brasil se daria para esses dois cenários, através das expressões algébricas que interpolam adequadamente os valores.

Para determinar qual será o tamanho da participação do DF nesse crescimento, foi feita a seguinte consideração: O DF, como dito anteriormente na subseção 2.9, possui 207 conexões em micro e minigeração de um total de 12363 no Brasil, correspondendo a 1,67% do total. Foi considerado um aumento desse valor para 2%, já que é esperado que o DF tenha uma maior participação nos próximos anos nesse setor, visto que há o Programa Brasília Solar em andamento. Portanto, supondo que todos os estados manterão as suas respectivas participações constantes ao longo dos anos em relação ao que temos atualmente, foi calculada a participação do DF para os dois cenários, julgando que ele manterá esses 2% em conexões de micro e minigeração até 2050.

Tabela 1 - Dados utilizados para determinar os cenários de crescimento no setor fotovoltaico até 2050.
(Fontes: ANEEL, 2017, ABSOLAR, 2017 e EPE, 2017)

Ano	Potência Instalada (MWp)	
	Cenário Conservador	Cenário Otimista
2012	0,4	0,4
2013	1,7	1,7
2014	4,0	4,0
2015	13,2	13,2
2016	59,6	59,6
2017	97,9	97,9
2050	37000	73000

Por fim, para determinar a quantidade de empregos que serão gerados nesse setor até 2050, foi utilizado uma estimativa da literatura de geração de empregos por MW instalado para diversas fontes e tecnologias. Essa estimativa feita pela autora, foi baseada em diversos outros estudos, e por isso é observado a variação na geração de empregos para as fontes, isso porque os autores consideraram diferentes premissas para realizar as estimativas. Essa variação nas premissas é devido principalmente a dois fatores, o primeiro é a diferença local e temporal e o segundo é a diferença metodológica que inclui a ferramenta para quantificação, escopo, as premissas e as fontes de dados utilizadas por cada autor (SIMAS, 2012). Essa estimativa pode ser vista na Figura 1.

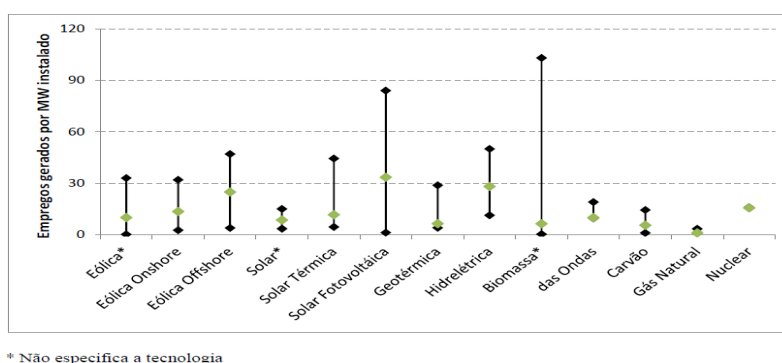


Figura 1 - Geração de empregos por MW instalado para diversas fontes e tecnologias (Fonte: SIMAS, 2012)

Um ponto importante a ser ressaltado, é que a energia solar fotovoltaica se destaca entre as fontes com a maior capacidade de geração de emprego. Para a estimativa, foi escolhido utilizar a mediana dos dados apresentados na literatura, visto que a quantidade de empregos gerados podem variar de acordo com o local. Para a energia solar fotovoltaica a mediana está por volta de 33 empregos por MW instalado. Esse dado será utilizado no cálculo de números de empregos gerados por capacidade instalada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dimensão Técnica

Como dito anteriormente, algumas cidades de diversas localidades do mundo foram escolhidas para que fossem feitas as comparações. A escolha foi feita baseada nos mapas de irradiância encontrados na literatura, onde foram selecionados lugares que apresentavam diferentes condições climáticas em relação à Brasília. Além disso, a comparação também foi feita com cidades brasileiras, visto que um dos objetivos é verificar se Brasília possui um melhor potencial fotovoltaico quando comparadas com as cidades brasileiras. Ao todo, foram escolhidas sete cidades de diferentes países e treze cidades brasileiras de diversos estados brasileiros. Os resultados da simulação para Brasília podem ser vistos na Tabela 2, tomando esses dados como base, foi possível realizar as comparações com as outras cidades.

Tabela 2 - Resultados da simulação em Brasília

Cidade	GHI (kWh/m ² .ano)	T Amb (°C)	E_Grid (kWh/ano)
Brasília	1945,7	21,84	2415

Na Figura 2 é apresentado graficamente os resultados da comparação de diversas cidades do mundo com Brasília. Os resultados de algumas cidades chamam a atenção, justamente pelas suas condições climáticas.

A cidade de Stuttgart na Alemanha possui umas das melhores taxas de irradiância do país, e mesmo assim o sistema produziu menos que um terço do que seria produzido em Brasília, o interessante é que a Alemanha desponta com uma das maiores investidoras no setor fotovoltaico, mesmo não possuindo tanto recurso solar como o Brasil.

Al Jawf é uma província da Líbia e se trata de um país que possui altos índices de irradiância e temperaturas, isso porque possui grandes desertos. O interessante é que o sistema produziu 15,07% a mais que o sistema em Brasília.

Outra cidade que deve ser mencionada é Arequipa no Peru, pois o nível de radiação dela é um dos maiores da América do Sul e o mais alto do Peru, além disso possui baixas temperaturas durante todo ano. Comparado com Brasília o sistema teve uma produção 29,11% maior, mas pode se observar que a discrepância não foi tão elevada, visto que essa é uma das melhores localidades do mundo para o aproveitamento da energia solar por meio da energia solar fotovoltaica.

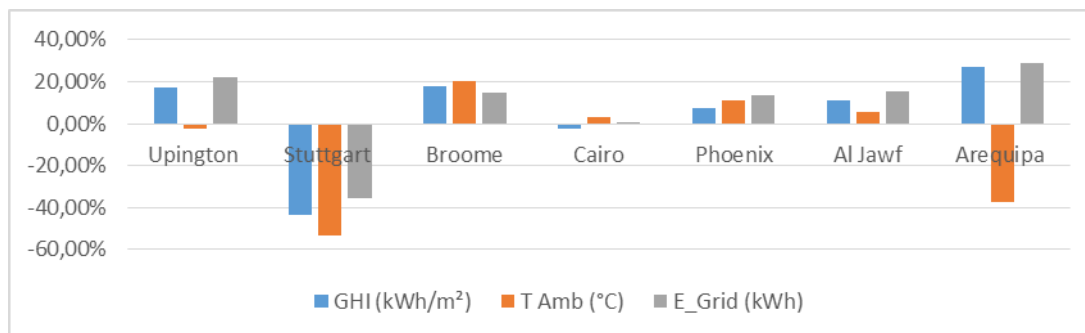


Figura 2 - Comparação de diversas cidades do mundo com Brasília como referência

Na Figura 3 é apresentado graficamente os resultados da comparação de diversas cidades brasileiras com Brasília. O primeiro resultado relevante da comparação das cidades brasileiras, é que em nenhuma dessas cidades, o sistema obteve um aproveitamento melhor do que o de Brasília. Mesmo cidades como Fortaleza e Petrolina que possuem um recurso solar melhor do que o de Brasília, não tiveram esse melhor aproveitamento, isso porque essas cidades possuem temperaturas mais elevadas que a de Brasília e por isso o sistema foi menos eficiente.

Outro resultado importante é que a maioria dessas cidades, possui em média, temperaturas mais elevadas que as de Brasília, portanto, um sistema fotovoltaico tende a produzir menos energia do que em lugares menos quente, logo Brasília possui uma vantagem em relação as outras cidades analisadas quando se trata de energia fotovoltaica.

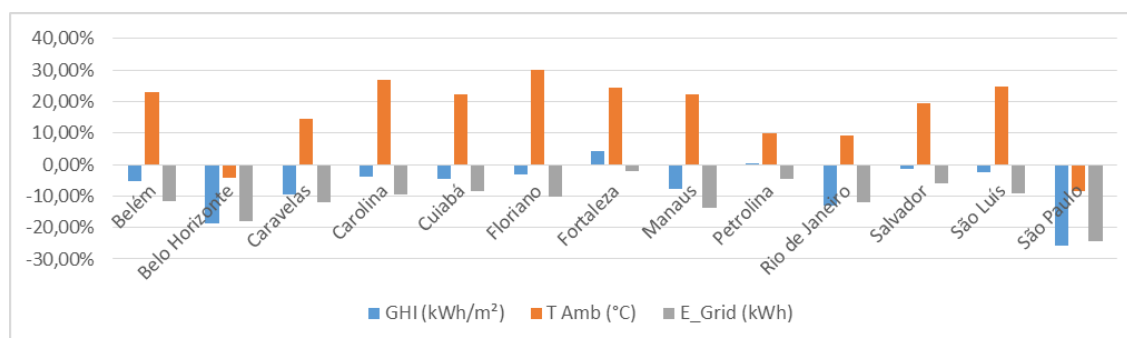


Figura 3 - Comparação das cidades brasileiras em relação a Brasília

Analisando os resultados da literatura para comparar com os resultados encontrados, no qual nessa bibliografia foi realizada uma comparação entre Brasília, Fortaleza e Belém a respeito do potencial das três cidades para instalação de projetos fotovoltaicos (Silva e Souza, 2016). Nesse estudo é visto que Fortaleza apresenta melhor aproveitamento das três, por volta de 8% maior que em relação à Brasília, enquanto que Belém apresenta um aproveitamento parecido ao de Brasília, com uma diferença de 2%. Essas diferenças já eram esperadas, pois no estudo foi levado em consideração outros parâmetros como precipitação, nebulosidade e umidade relativa, além disso o banco de dados utilizado por eles foi o do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o software utilizado foi o *System Advisor Model* (SAM). Portanto, todos esses fatores influenciaram nessa discrepância, mas mesmo com essas diferenças no método, os resultados se mostraram próximos, o que se pode concluir que Brasília possui um grande potencial para a implementação da energia solar fotovoltaica na região.

4.2 Dimensão Social

Como foi dito anteriormente, os dados da Tabela 1 foram utilizados para traçar as linhas de tendência dos cenários conservador e otimista. A linha de tendência foi criada com o auxílio da planilha Microsoft Excel, utilizando interpolação polinomial.

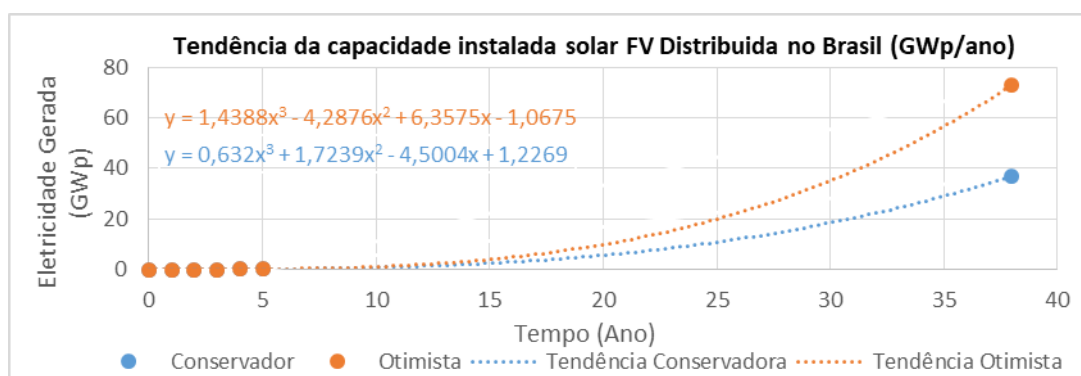


Figura 4 - Linhas de tendência dos cenários conservador e otimista

A Figura 4 apresenta como essas linhas de tendência se comportam, deste gráfico foram obtidas as seguintes expressões para os cenários conservador e otimista:

- Cenário conservador:

$$y = 0,632x^3 + 1,7239x^2 - 4,5004x + 1,2269 \quad (1)$$

Onde x é o ano no qual tem-se interesse e y representa a capacidade total instalada no ano x . É importante lembrar que o ano de 2012 é o marco zero sendo ele portanto o ano 0 da análise e que o ano 2050 se trata do marco final, sendo ele portanto o ano 38 da análise.

- Cenário Otimista:

$$y = 1,4388x^3 - 4,2876x^2 + 6,3575x - 1,0675 \quad (2)$$

Utilizando as Eq. (1) e Eq. (2), considerando o que o DF terá uma participação de 2% do total da capacidade instalada do Brasil, foi possível determinar a capacidade instalada que o DF terá até 2050. Por fim, utilizando a estimativa da Tabela 2 foi determinado quantos empregos serão gerados até 2050 tanto no Brasil quanto no DF.

Os resultados apresentados na Tabela 3 mostra a capacidade que o setor fotovoltaico possui no quesito de geração de empregos, no Cenário Conservador e Otimista. É importante ressaltar que esses são empregos gerados de forma direta, contando os empregos gerados de forma indireta esses números podem quadruplicar. Além disso, o crescimento do número de empregos gerados é proporcional ao crescimento da capacidade instalada, portanto é esperado que ele se intensifique a partir de 2032, como visto na figura 4.

Tabela 3 - Capacidade instalada e número de empregos até 2050 para os cenários conservador e otimista.

Cenários	Capacidade instalada até 2050 (MWp)		Número de empregos gerados diretamente até 2050	
	Brasil	DF	Brasil	DF
Cenário Conservador	37000	740	1221000	24420
Cenário Otimista	73000	1460	2409000	48180

5. CONCLUSÃO

O DF, quando comparado com outras cidades brasileiras que foram analisadas, tem potencial para uma maior geração de eletricidade quando se trata de energia solar fotovoltaica. Isso é devido à sua localização e suas características climáticas que dão uma vantagem competitiva considerável. É importante observar que mesmo Brasília tendo esse melhor aproveitamento, a cidade ainda não desponta como um dos melhores lugares para o uso da tecnologia. Isso ocorre porque a viabilidade só poderá ser identificada quando o custo nivelado da energia gerada pelo sistema for comparado a um custo de fornecimento alternativo, nesse caso, pelas tarifas das distribuidoras de energia elétrica. Portanto, a tecnologia ainda é onerosa tornando o retorno financeiro demorado, logo a sua viabilidade é menor.

Além disso, com o processo de inserção da energia fotovoltaica no DF, um novo mercado pode vir a se consolidar na região, visto que a previsão conservadora é de que até 2050, tenha-se 37 GWp de capacidade instalada em GDFV, podendo preenchendo lacunas na economia brasiliense e gerando por volta de 25 mil empregos no cenário conservador, para o cenário otimista esses números chegam a dobrar.

Além disso, por ser o centro político, o DF pode inclusive ser utilizado como estudo de caso pois possui diversos setores que se encaixam na aplicação da energia fotovoltaica como residências, áreas rurais, industriais e públicas, servindo de base para investimentos em maior escala no país. Portanto, o DF possui todas as condições de torna-se um impulsionador da energia fotovoltaica, intensificando o processo de diversificação da matriz elétrica brasileira, mas mudanças devem ser feitas para impulsionar o surgimento da demanda seja através de incentivos ou no barateamento do custo da tecnologia, são esses os desafios para a expansão do uso de painéis fotovoltaicos na capital brasileira.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR- Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, 2015. Proposta para Energia Solar Fotovoltaica no GDF. Disponível em: www.semarh.df.gov.br.
- ABSOLAR- Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, 2017. Números do Setor Solar Fotovoltaico. Disponível em: <http://absolar.org.br/confira-os-numeros-do-setor-solar-fotovoltaico.html>
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Unidades Consumidoras com Geração Distribuída, 2017. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd>. Acesso em: 23/07/2017.
- CRESESB- Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 2014. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro. Disponível em: www.cresesb.cepel.br.
- Fronius, *Datasheet Galvo 1.5-1 / 220*. Disponível em: https://www3.fronius.com/cps/rde/xbc/SID-C83CDCA7-6DE3DBCf/fronius_brasil/Galvos_772962_snapshot.pdf
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2016. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016 ano base 2015. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. 201p
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética 2017. Calculadora Brasil 2050. Disponível em: <http://calculadora2050brasil.epe.gov.br/calculadora.html>
- FRAUNHOFER ISE- Instituto Fraunhofer. Photovoltaics Report. ,2016 Disponível em: www.ise.fraunhofer.de. 43p. INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006. Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos, 2006. Disponível em: [ftp.cptec.inpe.br](ftp://ftp.cptec.inpe.br).
- IRENA - *International Renewable Energy Agency*, 2016. *Renewable Energy and Jobs - Annual Review 2016*.
- PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2015. Base Científica Das Mudanças Climáticas, Volume 1 – Primeiro Relatório de Avaliação Nacional. Disponível em: <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/pt/>. 108p
- PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2013. Impactos, Vulnerabilidades e Adaptação Volume 2 – Primeiro Relatório de Avaliação Nacional. Disponível em: <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/pt/>. 12p
- Silva, D. P., Gardenio e Souza, J. R. Marcelo, 2016. Revista Brasileira de Energias Renováveis. Análise de Variáveis de Projeto de Sistema Solar Fotovoltaico Utilizando o Modelo SAM: Uma comparação entre Belém, Fortaleza e Brasília. Disponível em: <https://goo.gl/uxDx2t>
- SIMAS, M. S. Energia Eólica e Desenvolvimento Sustentável no Brasil: Estimativa da Geração de Empregos por Meio de uma Matriz Insumo-Produto Ampliada. Dissertação de Mestrado, IEE-USP, 2012. Apud ABINEE. Propostas para a Inserção da Fonte Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira, junho de 2012.
- WWF-Brasil, 2016. Potencial da Energia Solar Fotovoltaica de Brasília, 1ª edição. Yingli Solar, Datasheet YL250P-29b. Disponível em: <https://goo.gl/VVxtWF>

Yingli Solar, Datasheet YL250P-29b. Disponível em: <https://goo.gl/VVxtWF>

TECHNICAL AND SOCIAL ASSESSMENT OF PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY AT DISTRITO FEDERAL – BRAZIL

Abstract. *The research project has as objective to analyze the impact that photovoltaic solar energy will bring to the Distrito Federal in the technical and social dimensions, due to this being a region with great potential in the production of solar energy. In the technical dimension, the photovoltaic potential of the DF was studied. For the analysis, a photovoltaic system connected to the electric grid of 1.5-kilowatt peak (kWp) was modeled. With the aid of software, this system was simulated in several cities of the world, which presented different conditions of irradiance and temperature in relation to Brasilia. Finally, it was observed how productive this system was in Brasilia, compared with other cities. In the social dimension, the generation of jobs from photovoltaic energy in distributed generation was analyzed. For this, two scenarios, one conservative and one optimist, were drawn in relation to the growth of photovoltaic energy in Brazil and the Distrito Federal until 2050. From these scenarios, estimates were obtained from the number of jobs that will be generated up to that year.*

Key words: *Solar Energy, photovoltaic potential, job creation.*