



UFC

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

CIRO DE PAIVA PADILHA

**INCORPORAÇÃO DA ENERGIA SOLAR NAS RESIDÊNCIAS DE FORTALEZA:
ANÁLISE DOS IMPACTOS PARA O SISTEMA DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO
DO NORDESTE**

FORTALEZA

2021

CIRO DE PAIVA PADILHA

INCORPORAÇÃO DA ENERGIA SOLAR NAS RESIDÊNCIAS DE FORTALEZA:
ANÁLISE DOS IMPACTOS PARA O SISTEMA DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DO
NORDESTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Civil do
Centro de Tecnologia da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Francisco de Assis de Souza
Filho

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- P134i Padilha, Ciro de Paiva.
Incorporação da energia solar nas residências de Fortaleza : análise dos impactos para o sistema de produção e distribuição do nordeste / Ciro de Paiva Padilha. – 2021.
54 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Francisco de Assis de Souza Filho.
1. Crise hídrica. 2. Análise de viabilidade. 3. Energia Solar. 4. Segurança hídrica. I. Título.
CDD 620
-

CIRO DE PAIVA PADILHA

INCORPORAÇÃO DA ENERGIA SOLAR NAS RESIDÊNCIAS DE FORTALEZA:
ANÁLISE DOS IMPACTOS PARA O SISTEMA DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DO
NORDESTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Civil do
Centro de Tecnologia da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Francisco de Assis de Souza
Filho

Aprovada em: 21/10/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco de Assis de Souza Filho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Victor Costa Porto (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Ályson Brayner Sousa Estácio
Universidade Estadual do Ceará (UFC)

Me. Renan Vieira Rocha
Universidade Estadual do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Nesta seção gostaria de agradecer profundamente a todos que participaram de minha jornada durante esses cinco anos. Infelizmente não poderei citar todos, pois não caberia aqui, mas se cruzamos caminhos nestes últimos cinco anos, você faz parte desta conquista também.

À minha mãe, que sempre foi meu porto seguro e a minha definição de família em um só ser. Aos meus colegas de classe que se tornaram alguns dos meus melhores amigos e dividiram a maior parte dos meus dias comigo, em especial Daniel Tardin, Pedro Rebelo, Gabriel de Sousa, Lucas Mapurunga, Francisco Nogueira, Alexandre Feitosa e Luciana Valente. Aos meus amigos de Fortaleza por me receberem com tanto amor, em especial José Filho, Pedro Brandão, Lívia Ferraz, Taynara Alves e Lucas Cavalcante. E obrigado aos de São Luís, por nunca deixarem que a distância física se tornasse uma distância emocional.

À todas as minhas vitórias, por me encherem de confiança e à todas as derrotas, por me mostrarem que não existe demérito em não ser invencível. Nenhum de nós é.

Aos grupos de amigos “FACAS”, “WTF”, “Concha Mágica”, “Tamo Junto”, “Morenos”, “Feiticeiros J” e “Anônimos”, por todas as risadas e encontros que aliviam a vida e me fazerem ver que estou no caminho certo, caso contrário, não estaria cercado de tanta gente maravilhosa.

Obrigado aos amigos do Laboratório de GRC, por toda a enxurrada de ensinamentos e ao meu professor e orientador Francisco Assis, por me mostrar, na prática, o que é ser um exemplo tanto de profissional quanto de ser humano, e o quanto a educação é transformadora.

Obrigado Lucas, pela companhia de uma vida inteira e à minha namorada Camilla, que teve que aguentar bem de perto meus prantos diários neste semestre de graduação e ofereceu o melhor suporte que eu poderia pedir.

Obrigado a todos os amores que vivi, tristezas que superei, amizades que fiz e desfiz, pessoas que encontrei e desencontrei nesses longos cinco anos. Vocês fizeram de mim quem eu sou hoje e tenho muito orgulho dessa pessoa.

E por último, mas não menos importante, obrigado a você, leitor, por dar a esse trabalho a importância que ele tem, e não deixar ele se tornar apenas mais um texto esquecido nos anais da história.

“Você pode alcançar qualquer coisa através da aplicação diligente da ciência”

Senku Ishigami

RESUMO

O Brasil é possuidor de uma das malhas elétricas mais limpas do mundo, mas altamente dependente da geração hidrelétrica e, conseqüentemente, da aleatoriedade do regime de chuvas nacional, o que torna nosso sistema energético altamente inseguro. Crises energéticas como a dos anos 2000, 2013 e a que vivemos hoje (2021) foram decorrentes de instabilidades climáticas que acabaram por extenuar os reservatórios de nossas usinas. Estudos sugerem que as mudanças climáticas que geram crises hídricas serão cada vez mais constantes, e nesse contexto de preocupação com a melhoria de nossa segurança energética, a discussão acerca da viabilidade do investimento em energias renováveis alternativas ganha força. Dentre elas, a energia solar, que será foco deste trabalho. Foi feita uma viabilidade ambiental, social e econômica da implantação de sistemas fotovoltaicos em residências de Fortaleza, bem como a possibilidade de escalá-lo e o que isso nos traria em termos de segurança energética, hídrica e retorno econômico aos envolvidos. Os resultados de todas as viabilidades foram extremamente positivos acerca deste investimento e estão organizados neste documento.

Palavras-chave: Crise hídrica; Análise de viabilidade; Energia Solar; Segurança hídrica; Segurança energética;

ABSTRACT

Brazil has one of the cleanest electricity grids in the world, but it is highly dependent on hydroelectric generation and, consequently, on the randomness of the national rainfall regime, which makes our energy system highly insecure. Energy crises such as the ones in 2000, 2013 and the one we are experiencing today (2021) were the result of climatic instabilities that ended up depleting the reservoirs of our plants. Studies suggest that climate changes that generate water crises will be more and more constant, and in this context of concern with improving our energy security, the discussion about the feasibility of investing in alternative renewable energy gains momentum. Among them, solar energy, which will be the focus of this work. An environmental, social and economic feasibility was made for the implementation of photovoltaic systems in homes in Fortaleza, as well as the possibility of scaling it and what this would bring us in terms of energy and water security and economic return to those involved. The results of all feasibility were extremely positive about this investment and are organized in this document.

Keywords: *Water crisis; Feasibility analysis; Solar energy; Water security; Energy security;*

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 1 | - Matriz Elétrica Brasileira (2017) | 16 |
| Figura 2 | - Malha Energética Brasileira (2017) | 17 |
| Figura 3 | - Previsão de esgotamento do combustível fóssil global | 18 |
| Figura 4 | - Comparativo da Matriz Energética Brasileira e Mundial (2016) | 18 |
| Figura 5 | - Produção de Energia por Fontes Renováveis e Não Renováveis no Brasil (2000-2019) | 19 |
| Figura 6 | - Países com maior acréscimo de capacidade instalada em 2018 e ranking da potência acumulada | 21 |
| Figura 7 | - Capacidade instalada e adições anuais para a energia solar fotovoltaica, entre 2008 e 2018 | 22 |
| Figura 8 | - Potencial de Energia Fotovoltaica no Brasil | 23 |
| Figura 9 | - Potencial de Energia Fotovoltaica na Alemanha | 24 |
| Figura 10 | - Participação dos diferentes subsídios históricos no mercado fotovoltaico... | 26 |
| Figura 11 | - Processos envolvidos na obtenção de energia solar fotovoltaica. Silício- MG: Silício em grau metalúrgico. Silício-EG: Silício em grau eletrônico. Silício-SOG: Silício em grau solar. CZ-monocristalino: silício monocristalino obtido por processo Czochralski. Si-poli: Silício policristalino (ou multicristalino). aSi: Silício amorfo | 30 |
| Figura 12 | - Limites do Sistema de Cinzas Pesadas no ACV de Termelétricas | 31 |
| Figura 13 | - Custos de externalidades de diversas fontes de geração de energia | 33 |
| Figura 14 | - Empregos gerados por diferentes fontes renováveis, no Brasil (2019) | 36 |
| Figura 15 | - Empregos gerados por energia renovável por tecnologia | 37 |
| Figura 16 | - Potencial de Geração de Empregos por MW Instalado | 37 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|----------|--|----|
| Tabela 1 | - Síntese revisão bibliográfica | 32 |
| Tabela 2 | - Detalhamento partes do empreendimento individual | 39 |
| Tabela 3 | - Bandeiras em uso atualmente | 39 |
| Tabela 4 | - Previsões para o IPCA para os próximos anos | 41 |
| Tabela 5 | - Detalhamento dos Cenários | 41 |
| Tabela 6 | - Detalhamento dos Cenários Propostos | 42 |
| Tabela 7 | - Detalhamento dos cenários de escala | 43 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|--|
| ACV | Avaliação de Ciclo de Vida |
| DDP | Diferença de Potencial |
| EPBT | Tempo de Payback Energético |
| EPE | Empresa de Pesquisa Energética |
| FIT | Feed-in-Tarif |
| GEE | Gás de Efeito Estufa |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IRENA | Agência Internacional para as Energias Renováveis |
| ProGD | Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica |
| PROINFA | Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica |
| RMF | Região Metropolitana de Fortaleza |
| RPS | Renewable Portfolio Standards |
| SIN | Sistema Interligado Nacional |
| SNIS | Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento |
| TJLP | Taxa de Juros a Longo Prazo |
| VREs | Valores de Referência Específicos |

LISTA DE SÍMBOLOS

\$ Dólar

% Porcentagem

R\$ Real

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 2 | CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA | 16 |
| 2.1 | Matriz energética brasileira e crises de energia | 16 |
| 2.2 | Energia Fotovoltaica | 20 |
| 2.3 | Aspectos Legais | 24 |
| 3 | ANÁLISE DE VIABILIDADE | 29 |
| 3.1 | Viabilidade Ambiental | 29 |
| <i>3.1.1</i> | <i>Extração da matéria-prima e fabricação dos componentes</i> | 34 |
| <i>3.1.2</i> | <i>Implantação e operação</i> | 34 |
| <i>3.1.3</i> | <i>Descarte</i> | 35 |
| 3.2 | Viabilidade Social | 35 |
| <i>3.2.1</i> | <i>Geração de empregos</i> | 35 |
| <i>3.2.2</i> | <i>Acesso a Saneamento Básico</i> | 38 |
| 3.3 | Viabilidade Econômica | 39 |
| <i>3.3.1</i> | <i>Empreendimento individual</i> | 41 |
| <i>3.3.2</i> | <i>Investimento em larga escala na cidade de Fortaleza</i> | 42 |
| <i>3.3.3</i> | <i>Impacto do investimento em larga escala em Fortaleza na segurança hídrica do Nordeste</i> | 43 |
| 4 | CONCLUSÃO | 45 |
| | REFERÊNCIAS | 47 |
| | ANEXO A – DETALHAMENTO DOS CÁLCULOS UTILIZADOS NA SIMULAÇÃO | 50 |
| | ANEXO B – FLUXO DE CAIXA EMPREENDIMENTO INDIVIDUAL CENÁRIO 1 | 51 |
| | ANEXO C – FLUXO DE CAIXA EMPREENDIMENTO INDIVIDUAL CENÁRIO 2 | 53 |
| | ANEXO D – FLUXO DE CAIXA EMPREENDIMENTO INDIVIDUAL CENÁRIO 3 | 54 |

1 INTRODUÇÃO

A matriz energética de um país é o conjunto das fontes disponíveis para realizar suas mais diversas atividades, como locomover carros, preparar comida no fogão e gerar eletricidade, por exemplo. A matriz elétrica diz respeito apenas ao último tópico, e é o conjunto das fontes disponíveis para “geração de energia” em um país, estado ou no planeta (EPE, 2019). O Brasil possui, segundo a EPE (Empresa de Pesquisa Energética), uma das matrizes elétricas mais limpas do mundo, mas altamente apoiada na geração hidrelétrica, com cerca de 65% do total.

Apesar de uma fonte renovável, a geração hidrelétrica é altamente dependente da aleatoriedade do regime de chuvas do momento (SILVA, 2016). Tal dependência faz com o que o Brasil seja energeticamente vulnerável a períodos secos. Crises relacionadas a esse fator são comuns no Brasil, como observado nos anos 2000, em 2013 e atualmente (2021). Em tais períodos, a estratégia adotada para minimizar essa vulnerabilidade é o aumento da geração termelétrica para suprir este espaço deixado pelas hidrelétricas deficitárias. Tal estratégia aumenta nossa segurança energética (SILVA, 2016) ao passo que este aumento está diretamente associado a impactos ambientais negativos devido, entre muitos outros fatores, ao aumento da emissão de gases de efeito estufa (GEE) (ROSA, 2007). Ao mesmo tempo, foi promovida uma diversificação da matriz por meio de fontes renováveis como a solar e a eólica, que juntas representam cerca de 10% da matriz elétrica brasileira (EPE, 2019). O ritmo dessa diversificação, entretanto, não foi rápido o suficiente para reduzir a vulnerabilidade climática nem as ações para mitigar suas conseqüentes crises.

Diversos autores (OLIVEIRA *et al.*, 2017; SILVEIRA *et al.*, 2018; DE JONG *et al.*, 2018) sugerem que a geração hidrelétrica nacional será afetada pelas prováveis mudanças climáticas. No subsistema Nordeste, os modelos de mudança climática apontam uma diminuição maior que 5% da vazão média afluente à usina para os próximos trinta anos (SILVEIRA *et al.*, 2018). A pressão causada pelas mudanças climáticas pode aumentar a frequência das próximas crises energéticas do país, afetando-o ambiental, social e economicamente.

Além das eventuais mudanças climáticas, a geração de energia no subsistema nordeste também é impactada pela variabilidade climática de baixa frequência. Rocha & Souza Filho (2020) mostraram uma mudança abrupta nas vazões afluentes ao Sobradinho a partir do ano de 1994, que resultou em uma diminuição de 29% em sua média.

Percebe-se, portanto, que o Brasil está em uma situação de urgência no que diz respeito à diversificação de sua malha energética. A aceleração do ritmo de implantação de fontes de energia renovável pode proporcionar uma segurança energética confortável em relação à variabilidade e mudanças climáticas e ao mesmo tempo diminuir a necessidade de geração térmica que é economicamente e ambientalmente danosa, além de se basear em recursos finitos.

Dentre estas possíveis fontes, a energia solar fotovoltaica se destaca globalmente pela sua rápida implantação, escala, descentralização, além de basear sua geração em um recurso abundante e infinito, que é a radiação solar. Apesar de ser uma das fontes que mais recebe investimentos ao redor do globo, esta corresponde a apenas 1% da matriz elétrica brasileira.

Cidades do nordeste brasileiro, como Fortaleza, possuem um altíssimo potencial para geração solar fotovoltaica devido às altas e constantes taxas de irradiação solar ao longo do ano (SOLARGIS, 2021). Entretanto, mesmo nessas regiões, ela não é a fonte de energia renovável mais utilizada (EPE, 2019).

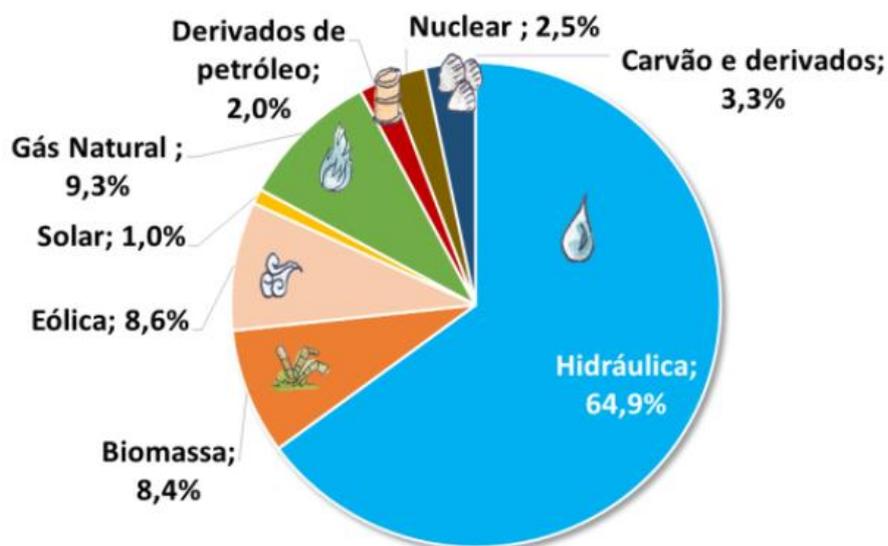
Este trabalho tem como objetivo avaliar as viabilidades ambiental, social e econômica de investimentos em energia solar nas residências da cidade de Fortaleza, em comparação com as outras fontes de energia, além de verificar o seu impacto no subsistema energético do Nordeste como um todo.

2 Contextualização Histórica

2.1 Matriz energética brasileira e crises de energia

A figura 1, abaixo, mostra a divisão da malha de geração elétrica brasileira nas suas diferentes fontes energéticas. O Brasil possui uma das matrizes elétricas mais limpas do mundo, mas fortemente apoiado na geração hidrelétrica.

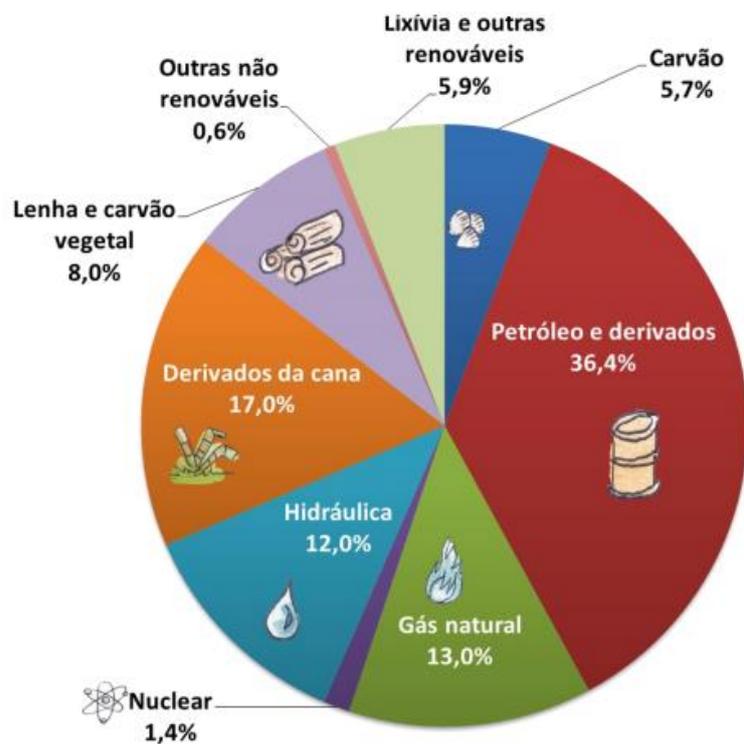
Figura 1 - Matriz Elétrica Brasileira (2017)



Fonte: EPE (2019)

Sua malha energética, no entanto, se apoia majoritariamente em fontes não renováveis, conforme explicitado na Figura 2 a seguir:

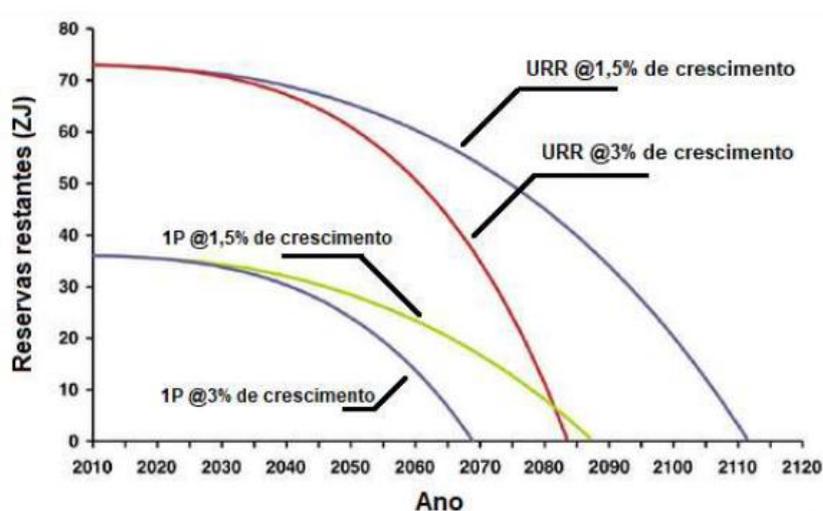
Figura 2 - Malha Energética Brasileira (2017)



Fonte: EPE (2019)

Tal cenário é preocupante não apenas pelo ponto de vista ambiental, visto que as fontes não-renováveis são as maiores emissoras de gases de efeito estufa (GEE's), mas pelo fato de tais fontes se utilizarem de recursos finitos, como o nome sugere. A previsão de esgotamento total de combustíveis fósseis (aqui incluso petróleo, carvão e urânio) são previstas para o ano de 2110, contando com as Últimas Reservas Recuperáveis e com um crescimento econômico mundial de 1,5%, conforme o gráfico abaixo:

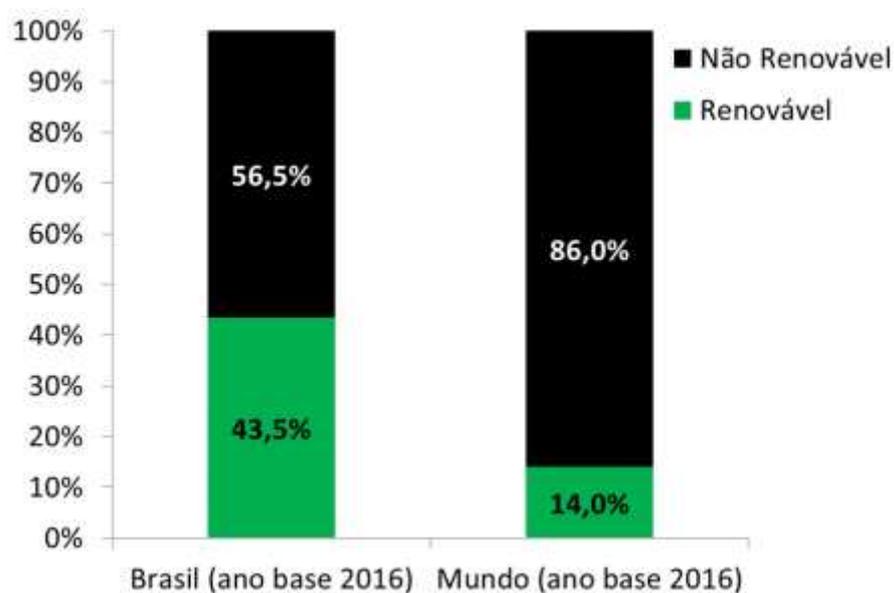
Figura 3 - Previsão de esgotamento do combustível fóssil global



Fonte: STEPHENS et al. (2010, pp. 554-64)

Apesar do seu viés majoritariamente não-renovável, a malha energética brasileira ainda é bem mais renovável que a média mundial, como evidenciado a seguir:

Figura 4 - Comparativo da Matriz Energética Brasileira e Mundial (2016)



Fonte: EPE (2019)

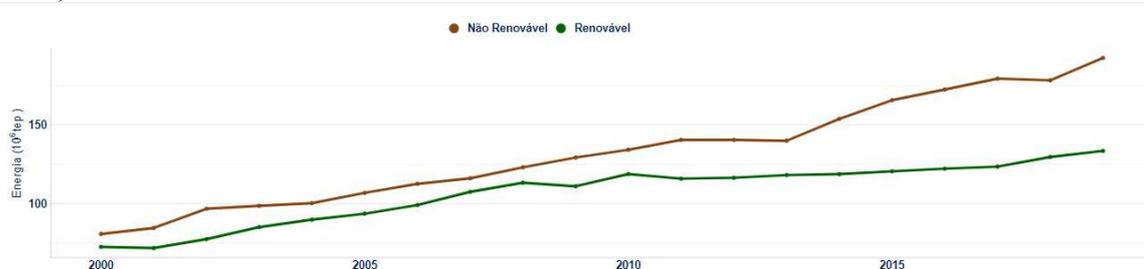
Isso fez com o que o país ficasse numa espécie de “zona de conforto” enquanto o restante do planeta buscava formas de diversificar suas malhas elétricas e energéticas a fim de ter uma segurança energética maior, agredir menos o meio ambiente enquanto gera e consome energia e de depender cada vez menos de fontes geradoras de energia a partir de recursos esgotáveis.

Os perigos de se apoiar tão fortemente em apenas uma fonte de energia, como é o caso do Brasil com a energia hidrelétrica, estão no fato de que uma crise nesse setor em específico seria o suficiente para desbalancear todo o cenário energético nacional. Crises desse tipo já ocorreram no passado e podem ocorrer novamente, como será discutido adiante.

Devido a secas severas e problemas com obras de transmissão e geração de energia, o Brasil passou, nos anos 2000, por um severo período de racionamento de energia, com cortes de energia programados a fim de reduzir o consumo do país em 20%, de acordo com a Comissão de Análise do Sistema Hidrotérmico de Energia Elétrica

Já em meados de 2013, o Brasil passou por uma crise hídrica ainda mais severa, que deixou os reservatórios em níveis ainda mais baixos que o da crise anterior (SILVA, 2016). Isso fez com que o governo instituisse uma cobrança adicional nas contas de energia chamada de “tarifa vermelha”, com o objetivo de desincentivar o uso de eletricidade e manter controlados os gastos (ANEEL). Fontes não renováveis (em especial as usinas termelétricas) tomaram espaço em nossa matriz para suprir esse rombo causado pela deficiência hídrica nacional, como mostrado na Figura 5 abaixo:

Figura 5 - Produção de Energia por Fontes Renováveis e Não Renováveis no Brasil (2000-2019)



Fonte: BEN, EPE (2021)

Este movimento foi diretamente contra a tendência global que visava o desenvolvimento sustentável, através da diversificação da matriz energética, a partir do investimento em energias limpas e renováveis, como é o caso da solar.

Apesar desse movimento de suprir deficiências hídricas com fontes não-renováveis, a matriz energética brasileira sempre foi bem mais verde que a média global (EPE, 2019). Tal fato fez com que o país não sofresse das mesmas pressões globais para suprimir a emissão de gases agravadores do efeito estufa ou “esverdear” seu mix de energias. Devido a isso, percebemos uma certa ausência de fomentos incisivos, que acabou limitando o crescimento desse mercado fotovoltaico no Brasil, apesar do grande potencial. A perceptível necessidade de

aumentar nossa segurança energética (hoje fortemente apoiada em nossas usinas hidrelétricas) vem para balancear esse senso de urgência (LANDEIRA, 2013).

Portanto, nos vemos em uma situação de urgência no que diz respeito à diversificação da nossa malha, a fim de atingir uma segurança energética confortável ao mesmo tempo que devemos nos distanciar cada vez mais de fontes de energia provenientes de recursos finitos. As fontes que mais têm ganho espaço nesse movimento mundial de diversificação são a eólica e a solar fotovoltaica, com ênfase na segunda, que é o foco deste estudo.

2.2 Energia Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é obtida através da transformação de radiação solar em eletricidade. Esse processo ocorre por conta de um dispositivo chamado célula fotovoltaica, que realiza um efeito de mesmo nome.

Este efeito foi observado pela primeira vez pelo cientista francês Alexandre-Edmond Becquerel, em 1839. Ele percebeu uma DDP (diferença de potencial) entre eletrodos imersos em solução ácida, quando a mesma era submetida a iluminação. W.G Adams e R.E. Day verificaram um comportamento semelhante em amostras sólidas e, em 1183, C.E. Frits construiu o primeiro dispositivo que podemos chamar de precursor do módulo fotovoltaico.

Estudos mais significativos sobre o tema foram retomados em 1954, quando pesquisadores estadunidenses da Bell Labs descobriram, acidentalmente, que diodos de junção Positivo-Negativo geravam uma DDP sob a luz. Posteriormente, produziram um protótipo da primeira célula de silício, com uma eficiência de meros 6% (LUQUE; HEGEDUS, 2011).

Uma grave crise petrolífera em 1973 abriu os olhos do mundo para a necessidade de se preocupar com a diversificação da malha energética, bem como sua segurança, fomentando investimentos em governos ao redor de todo o globo (LUQUE; HEGEDUS, 2011), fazendo com que o mercado global começasse a crescer a passos largos.

Em 1980, investimento massivo na produção dos módulos foi observado em países como EUA, Japão e grandes potências europeias. Em 1991, um programa do governo alemão intitulado de “1000 telhados” (que subsidiou a instalação de painéis fotovoltaicos em residências), ajudou na popularização da tecnologia e foi pontapé inicial para o surgimento de legislações favoráveis ao redor do mundo (LUQUE; HEGEDUS, 2011).

Nos estágios iniciais do desenvolvimento desses sistemas, o mercado global foi liderado pelos precursores dos sistemas fotovoltaicos, os Estados Unidos. O país perdeu seu

posto pela primeira vez em 1997, sendo superado pelo Japão. Entre 2005 e 2014, a Alemanha tornou-se a maior produtora global, a partir de subsídios governamentais no setor de energias renováveis. A China, a partir de investimentos cavalares, ultrapassou o país europeu e ocupou a primeira posição do ranking, onde permanece até os dias de hoje (IEA, 2019). Na figura 6, abaixo são exibidos os maiores atuantes no setor de energia solar fotovoltaica, em capacidade acumulada e capacidade instalada apenas no ano de 2018.

Figura 6 - Países com maior acréscimo de capacidade instalada em 2018 e ranking da potência acumulada

TABLE 1: TOP 10 COUNTRIES FOR INSTALLATIONS AND TOTAL INSTALLED CAPACITY IN 2018

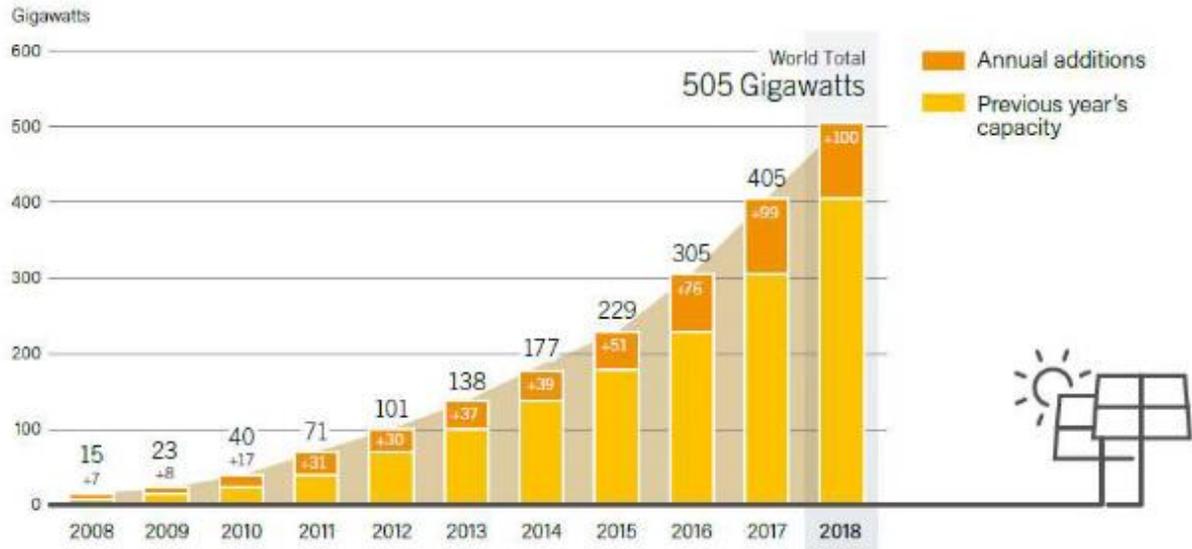
| FOR ANNUAL INSTALLED CAPACITY | | | | FOR CUMULATIVE CAPACITY | | | |
|-------------------------------|---|-------------|---------|-------------------------|---|-----------|----------|
| 1 |  | China | 45,0 GW | 1 |  | China | 176,1 GW |
| 2 |  | India | 10,8 GW | 2 |  | USA | 62,2 GW |
| 3 |  | USA | 10,6 GW | 3 |  | Japan | 56,0 GW |
| 4 |  | Japan | 6,5 GW | 4 |  | Germany | 45,4 GW |
| 5 |  | Australia | 3,8 GW | 5 |  | India | 32,9 GW |
| 6 |  | Germany | 3,0 GW | 6 |  | Italy | 20,1 GW |
| 7 |  | Mexico | 2,7 GW | 7 |  | UK | 13,0 GW |
| 8 |  | Korea | 2,0 GW | 8 |  | Australia | 11,3 GW |
| 9 |  | Turkey | 1,6 GW | 9 |  | France | 9,0 GW |
| 10 |  | Netherlands | 1,3 GW | 10 |  | Korea | 7,9 GW |

Fonte: IEA (2019)

À medida que a energia fotovoltaica se transforma em uma opção cada vez mais competitiva em um número cada vez maior de países, a demanda por ela aumenta exponencialmente, tanto para aplicações residenciais quanto grandes usinas solares. Esta crescente demanda fez com que ela se tornasse a tecnologia de geração de eletricidade que mais cresce no planeta, em 2018, aumentando 25% de sua capacidade instalada em relação ao ano anterior (REN21, 2019).

A figura 7, abaixo, explicita o crescimento exponencial desta tecnologia ao longo dos 10 anos entre 2008 e 2018. A capacidade instalada global saltou de 15 GW para 505 GW, o que corresponde a um acréscimo de mais de 30 vezes em 10 anos.

Figura 7 - Capacidade instalada e adições anuais para a energia solar fotovoltaica, entre 2008 e 2018.



Fonte: REN21 (2019)

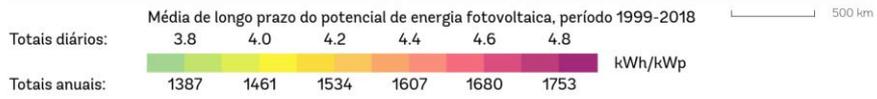
No Brasil, o potencial de geração de energia fotovoltaica é notável. Abaixo, iremos compará-lo com o potencial de geração alemão, que atualmente é o maior mercado fotovoltaico na união europeia, e um dos mais expressivos no planeta (IRENA,2019).

Figura 8 – Potencial de Energia Fotovoltaica no Brasil

MAPA DE RECURSOS SOLARES

POTENCIAL DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

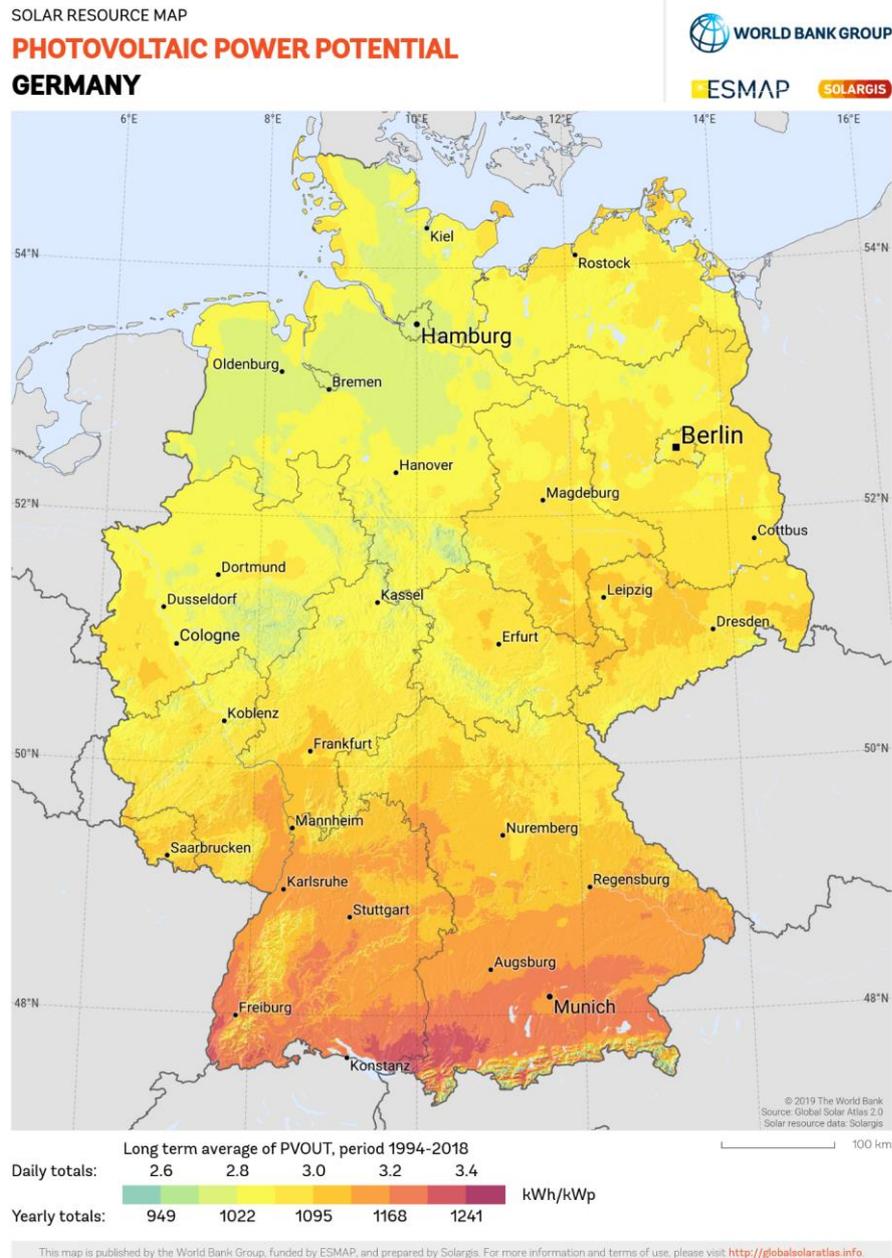
BRASIL



Este mapa é publicado pelo Banco Mundial, fundado pelo ESMAP e preparado pela Solargis. Para mais informações e termos de utilização, visite <http://globalsolaratlas.info>.

Fonte: SOLARGIS

Figura 9 - Potencial de Energia Fotovoltaica na Alemanha



Fonte: SOLARGIS

Analisando as figuras 8 e 9 acima, percebemos que mesmo as áreas com menor potencial no território brasileiro ainda são mais promissoras do que as com maior potencial no território alemão, por exemplo. O Estado do Ceará e, conseqüentemente, a cidade de Fortaleza, estão localizados no nordeste brasileiro que, devido à sua proximidade com a linha do equador, se mostra como a uma das regiões mais promissoras dentro do território brasileiro.

2.3 Aspectos Legais

A energia fotovoltaica não teria tido uma inserção tão rápida e eficiente no mix de energias brasileiro se não tivesse sido apoiada por medidas de fomento. Estas são aplicadas comumente no setor energético, para fontes renováveis ou não. Abaixo estão listados os principais destes incentivos. (TOLMASQUIM, 2016).

A Feed-in-Tarif (FiT) obriga concessionárias a comprar energia gerada por usinas fotovoltaicas. Esse custeio é assumido por diferentes agentes, dependendo do país. Na Espanha, por exemplo, é assumido pelo Tesouro Nacional. Já na Alemanha, pelos consumidores. Essa medida visa acelerar o crescimento deste mercado, a fim de reduzir riscos no investimento.

O Net Metering é um sistema no qual o consumidor de energia elétrica instala geradores fotovoltaicos na sua unidade. A energia gerada é medida e é abatida da consumida. Caso a geração solar exceda a demanda energética, há um sistema de créditos para abater de faturas posteriores. Este modelo é aplicado no Brasil, além de ser predominante nos Estados Unidos (NOGUEIRA, 2016).

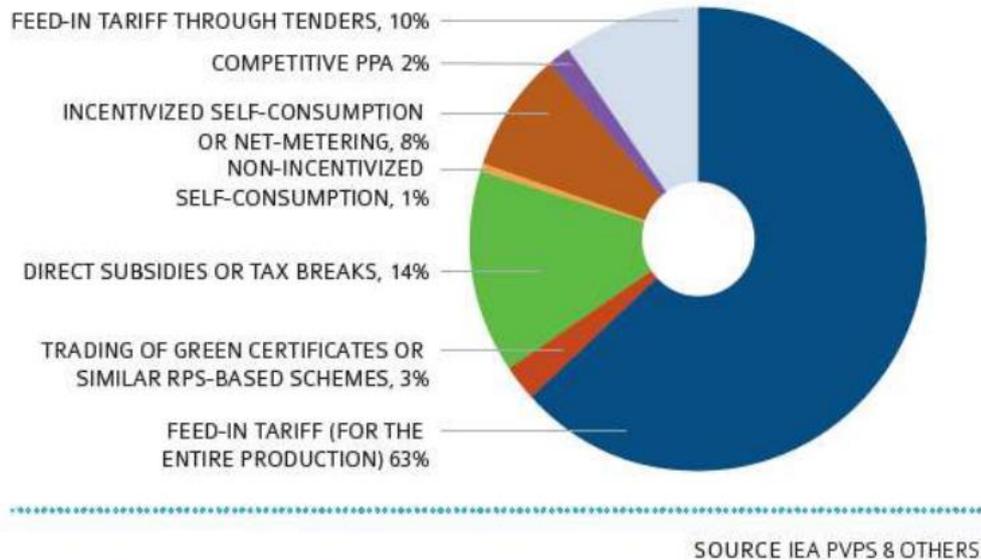
Com o objetivo de reduzir o custo inicial do projeto, subsídios diretos (como acesso à linhas de financiamento especiais) são utilizados em países como Áustria, Austrália, China, Itália e Japão, por exemplo. Créditos fiscais também entram como subsídios diretos, e correspondem a um abatimento do que deve ser pago ao Estado. Este já é difundido no Canadá, Estados Unidos, França, Japão, entre outros.

Os Renewable Portfolio Standards (RPS) impõem que uma certa porcentagem de energia deve ser obtida a partir de fontes renováveis, pelas fornecedoras. Essa cota pode ser cumprida a partir de geração própria ou compra de certificados (chamados certificados verdes).

A figura 10 ilustra a porcentagem de cada um desses subsídios no mercado, ressaltando a importância do FiT, que corresponde a 73%, caso somemos ao FiT de leilões.

Figura 10 - Participação dos diferentes subsídios históricos no mercado fotovoltaico

FIGURE 14: HISTORICAL MARKET INCENTIVES AND ENABLERS



Fonte: IEA PVPS (2018)

A geração de energia solar fotovoltaica no Brasil teve, como marco inicial mais importante, a introdução da Resolução Normativa nº 482 da ANEEL em abril de 2012. Ela estabelece as condições gerais de acesso aos sistemas de abastecimento elétrico a partir da micro e minigeração distribuídas. Além disso, esta mesma resolução regula o net metering.

Esta resolução foi revista pela REN nº 687 e pela REN nº 786 nos anos de 2015 e 2017, respectivamente. Passou a definir a microgeração distribuída como uma central geradora com potência instalada menor ou igual a 75 kW, utilizando-se de cogeração qualificada ou fontes renováveis, estando conectada à rede por instalações consumidoras. A mini geração deve atender os mesmos requisitos, mas situar-se na faixa de 75kW a 5MW (ANEEL, 2015a).

A norma possibilita, seja o empreendimento de uma ou múltiplas unidades consumidoras, que a eletricidade gerada e não consumida seja injetada na rede. A energia inserida em um determinado horário deve ser utilizada posteriormente em momentos de mesmo posto tarifário. Caso haja excedente de geração em relação à demanda, é aplicado um fator de crédito, permitindo o aproveitamento em cobranças posteriores.

A norma estipula, também, que o valor cobrado na fatura é a diferença positiva entre o que foi consumido e o que foi injetado pela unidade geradora, somando-se créditos anteriores. Caso a geração supere o consumo, é cobrada uma quantia mínima. Para clientes A9, é o valor da demanda contratada. Para os grupos B10, a 30 kWh para sistemas monofásicos, 50 kWh em bifásicos ou 100 kWh em trifásicos.

Também há possibilidade de instalar os painéis em local diferente de onde ocorre o consumo, por meio de geração compartilhada ou autoconsumo remoto. Nesta, caso o mesmo CPF ou CNPJ tenha mais de uma unidade vinculada, os créditos podem ser transferidos entre propriedades. Já naquela, dois usuários podem se unir para partilhar da energia gerada por um sistema.

Estas revisões, que tinha como objetivo a expansão do mercado, diminuir custos e compatibilizar o net metering com as unidades fornecedoras de energia, também aumentaram os créditos a partir do excesso de geração de 36 para 60 meses. Houve, também, uma simplificação do registro do sistema solar pelas companhias locais, diminuindo sua duração de 90 para 35 dias, em média (BESSO, 2017).

Com o objetivo de estimular a geração de energia por meio de fontes renováveis foi criado, em 2015, o Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), a partir da portaria nº 538/2015. Ela incentiva a atuação de agentes vendedores de energia desta modalidade, define Valores de Referência Específicos (VREs), prevê e fomenta estudos para permitir a venda no Ambiente de Contratação Livre e regula um grupo de trabalho para propor aprimoramentos nestes âmbitos.

Também propõe, para projetos dessa natureza, a criação e a expansão de linhas de crédito e planos de financiamento, incentivo à indústria, promoção e atração de investimentos/tecnologias diversos e competitivos para energias renováveis, além de fomentar a capacitação profissional qualificada para atuar.

Ela também revoga a cobrança obrigatória do ICMS em todos os estados. O tributo é aplicado, portanto, somente sobre a energia recebida da rede, e não do que ele produz de excedente e retorna à mesma.

Também são reduzidas a zero as alíquotas de contribuição PIS/Pasep e COFINS que incidem sobre a energia elétrica fornecida pela distribuidora.

Ainda como incentivos fiscais, é importante citar o convênio nº 101/97 do CONFAZ, exime a cobrança do ICMS às operações com diversos equipamentos e componentes dos sistemas fotovoltaicos. Estes equipamentos também foram incluídos em planos de financiamento geridos pela Caixa Econômica, como o Construcard11, para aquisição por pessoa física, pagando taxa de juros de mercado em até 240 meses (MME, 2016).

Há também o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). Este foi idealizado pela Lei 10.438/2002, e tem como objetivo o aumento, na matriz energética brasileira, da participação de fontes renováveis. Por meio dele, são estipuladas

cotas a serem pagas por todos os agentes do Sistema Interligado Nacional (SIN), além de custeados pelos consumidores finais, excetuando-se os de baixa renda (ANEEL, 2015a).

Finalizando esta parte de legislação, temos a lei nº 9.991/2000, que obriga concessionárias, permissionárias e entidades autorizadas a aplicarem uma parte de sua receita em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico brasileiro (BRASIL, 2000).

3 ANÁLISE DE VIABILIDADE

3.1 Viabilidade Ambiental

Impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades do meio ambiente, sejam elas físicas, químicas, biológicas, sociais ou econômicas, causada pelo desenvolvimento das atividades antrópicas (CONAMA, 1986).

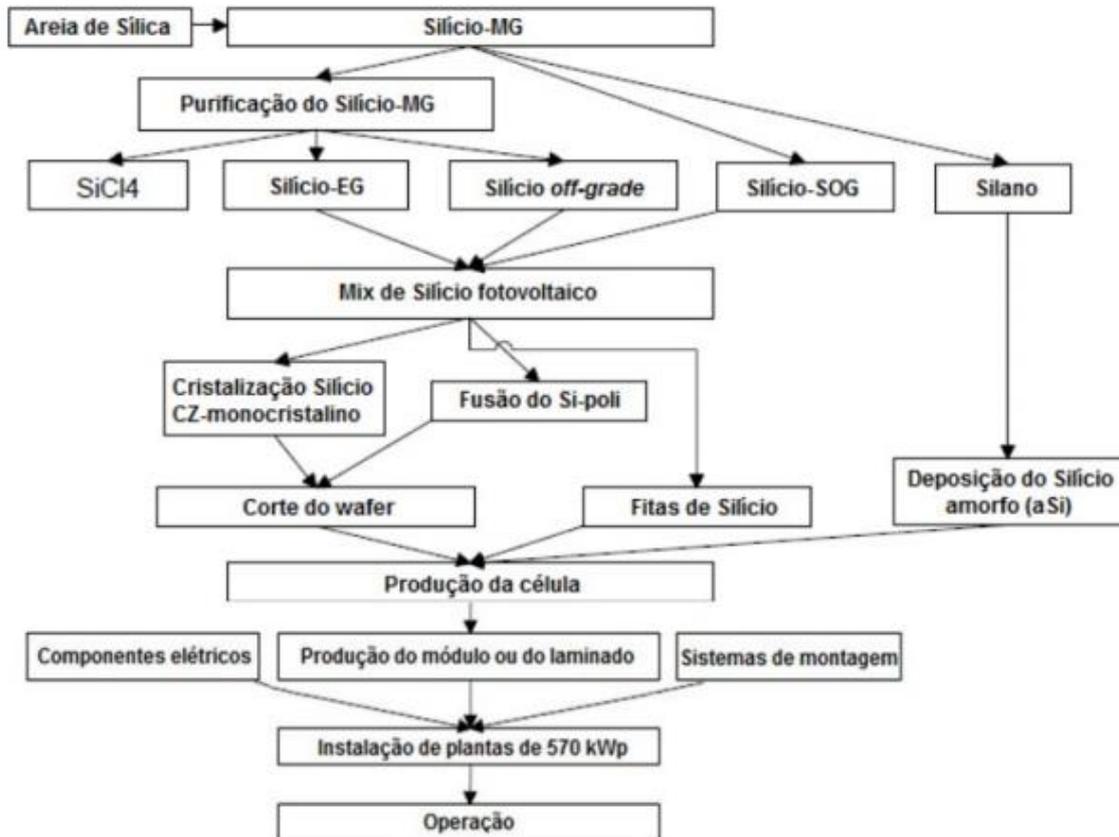
A Energia Solar é a energia mais limpa do mundo, e com muito potencial no nordeste brasileiro, mas corresponde apenas a 1,7% da matriz energética brasileira (ANEEL).

Além disso, sua geração de energia fotovoltaica não depende de recursos finitos, como os combustíveis fósseis, e sim da energia proveniente do Sol, abundante e inesgotável, e que, durante a produção de eletricidade, não emite poluentes, resíduos ou gases do efeito estufa.

Entretanto, a geração de energia fotovoltaica (assim como qualquer outra), não está isenta desta de causar impactos ambientais. Ela gera, especialmente nas fases de fabricação dos componentes do módulo fotovoltaico e da implantação do sistema, mudanças que devem ser analisadas a fundo a fim de termos resultados fiéis e precisos. Estas serão discutidas abaixo, bem como ações para amenizá-las ou até suprimi-las.

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), é um método utilizado para mensurar o impacto ambiental de bens e serviços, desde a extração de sua matéria prima até sua utilização e eventual descarte de seus componentes (SETAC, 1993). Este foi o método utilizado pela maioria dos autores para incluir a fabricação do módulo fotovoltaico na análise de impacto ambiental desta fonte energética.

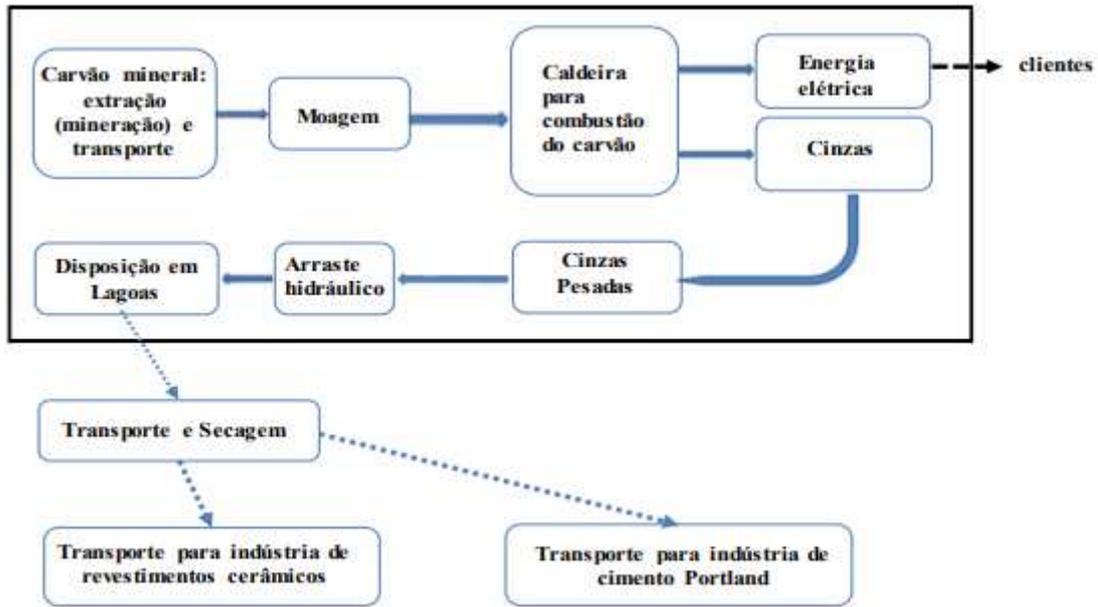
Figura 11 - Processos envolvidos na obtenção de energia solar fotovoltaica. Silício-MG: Silício em grau metalúrgico. Silício-EG: Silício em grau eletrônico. Silício-SOG: Silício em grau solar. CZ-monocristalino: silício monocristalino obtido por processo Czochralski. Si-poli: Silício policristalino (ou multicristalino). aSi: Silício amorfo.



Fonte: Adaptado de Jungbluth et al. (2010)

Na figura 12 é explicitado o ciclo de vida das usinas termelétricas, para comparação.

Figura 12 - Limites do Sistema de Cinzas Pesadas no ACV de Termelétricas



Fonte: Adaptado de Kniess (2005).

O Tempo de Payback Energético (EPBT) é um método utilizado para mensurar a sustentabilidade de sistemas energéticos. Dividindo a quantidade de energia utilizada para o sistema funcionar pela quantidade de energia gerada anualmente por esta, nos é indicado quantos anos demoraria até o investimento no sistema ser pago, de um ponto de vista energético. (ALSEMA, 2012).

A Análise Qualitativa Ambiental busca, através da listagem das vantagens e desvantagens de cada uma das fontes analisadas, avaliar o custo-benefício de cada uma delas para cada um dos grupos que se beneficiam desta energia gerada (governo, usuário, agentes do setor e da sociedade como um todo) e encontrar aquele de menor impacto socioambiental (SILVA, 2018).

A Valoração Econômica através da Análise do Ciclo de Vida busca mensurar aqueles impactos ambientais que não são normalmente levados em consideração pelas transações de mercado, como emissão de gases ou resíduos poluentes. Tais embargos não são adicionados ao custo de fontes não renováveis, o que faz com que estas pareçam bem mais baratas do que são, de um ponto de vista socioambiental. Adicionar a valoração econômica à análise de ciclo de vida faz com que a comparação entre diferentes fontes geradoras de energia seja mais palpável e de fácil interpretação/comparação para o leitor (JUNQUEIRA, 2017).

Na tabela 1, abaixo, estão sintetizados os métodos e conclusões de diversos autores, a partir de análises feitas em diversos países. É unânime que a Energia Solar Fotovoltaica é extremamente positiva no curso de sua vida útil, seja pela Avaliação de Custo de Vida, pelo

Tempo de Payback Energético, por Análises Qualitativas ou pela Valoração Econômica dos Impactos Ambientais.

É necessário salientar que o custo energético e ambiental associado à produção dos módulos fotovoltaicos está diretamente associado ao mix energético do país em que cada etapa produtiva é efetuada. O Brasil não possui, atualmente, robustez tecnológica que o permita produzir módulos fotovoltaicos em massa, do zero. Sendo assim, ou os módulos são importados prontos da China, ou os wafers são produzidos na China e o restante do módulo é montado no Brasil. Em qualquer um destes cenários, os custos ambientais ficam reféns da malha energética chinesa, altamente dependente do carvão (OLIVEIRA, 2017). Conseguir com que o Brasil tivesse amparo tecnológico para a produção total do módulo, aliado ao fato de nossa matriz energética ser uma das mais limpas do planeta, faria com que os gastos ambientais diminuíssem ainda mais (OLIVEIRA, 2017).

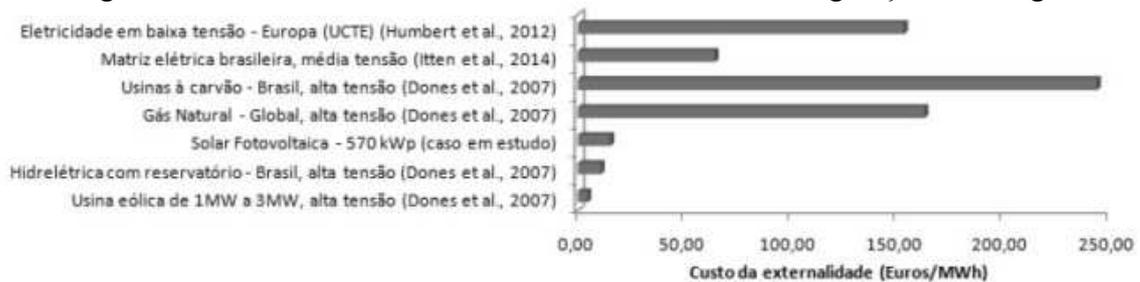
Tabela 1 - Síntese revisão bibliográfica

| Autor | País de Estudo | Método | Ano | Conclusão |
|--------------------------------------|------------------|--|------|--|
| Jordy et al. | Brasil | ACV | 2018 | Payback Energético de 3 anos |
| V.M. Fthenakis | EUA | ACV | 2010 | Payback Energético de 2,7 anos |
| Lara Raquel de Jesus Rodrigues Silva | Brasil | Comparação Qualitativa (Solar x Hidro x Térmica) | 2018 | Melhor Custo Benefício da Energia Solar, em comparação às outras duas |
| Rafael Coelho | Espanha + Brasil | ACV + Valoração Econômica de Impactos Ambientais | 2017 | Valoração Econômica do CV da Energia Solar 4x Menor que a da Matriz Brasileira |
| Adriana de Souza Oliveira | Brasil | ACV | 2017 | Todos os cenários analisados geram menos impactos negativos que o atual mix de |

| | | | | |
|---------------------|--------|------------------------|------|---|
| | | | | energias brasileiro PAG 4x Menor |
| S. H. Fukurozaki | Brasil | Energy Payback Time | 2013 | Tempo de Payback Energético entre 2.47 e 3.13 anos |

Abaixo, a figura 13 explicita o custo de externalidades ambientais referentes a diversas fontes de geração de energia. percebemos que o custo da energia solar fotovoltaica é ligeiramente maior que o de outras fontes renováveis, mas brutalmente menor que o das fontes não-renováveis tão usadas em nossa matriz.

Figura 13 - Custos de externalidades de diversas fontes de geração de energia



Fonte: base de dados Ecoinvent 3.1 (RAFAEL COELHO).

Em geral, os autores chegaram à conclusão de que o payback energético dos módulos fotovoltaicos se dá entre 2.5 e 3 anos. Na análise de custo de vida, percebe-se que a energia solar fotovoltaica gera bem menos impactos do que as fontes atualmente utilizadas no mix de energias brasileiro, especialmente no que tange o potencial de aquecimento global, que chega a ser 4 vezes menor que o nosso mix, segundo Adriana Sousa (OLIVEIRA, 2017). Na avaliação qualitativa, a energia solar se mostra mais vantajosa inclusive que a hídrica, uma fonte renovável muito utilizada em nosso país.

Do ponto de vista de eficiência energética, 1 tonelada de silício cristalino tem capacidade de produzir 20 vezes mais eletricidade que o urânio em mesma quantidade, 530 vezes mais que o petróleo e 820 vezes mais do que o carbono (SERRASOLLES *et al.*, 2004). Considerando um payback energético de cerca de cerca de 3 anos para uma vida útil de cerca de 25 (para sistemas ligados à rede), o módulo fotovoltaico produzirá, em termos energéticos, cerca de 8 vezes mais do que consumiu em sua fabricação.

3.1.1 Extração da matéria-prima e fabricação dos componentes

90% do mercado de módulos fotovoltaicos tem como matéria prima o silício (COUTINHO, 2019). No âmbito de extração de matéria prima e fabricação de seus componentes, as etapas que mais consomem energia e, conseqüentemente, que geram mais impactos ambientais são: A extração do Silício, a Purificação do Silício e a Produção do Módulo Fotovoltaico (OLIVEIRA, 2017). Na extração, pode haver a degradação da paisagem, poluição da água e geração de rejeitos.

Para ser utilizado em seu melhor rendimento, ainda deve ser purificado para chegar no que chamamos de “silícios grau solar”. Nesta etapa, são emitidos materiais particulados e gases de efeito estufa. Ainda há o risco de acidente pois são manuseadas substâncias explosivas e químicos corrosivos.

As etapas subsequentes, envolvendo a fabricação dos *wafers* e montagem das células e módulos, também emitem material particulado.

Os danos ambientais citados acima podem todos ser limitados através da gestão ambiental correta, bem como rígido controle da utilização, transporte e descarte dos materiais envolvidos no processo (TOLMASQUIM, 2016).

3.1.2 Implantação e operação

Dependendo do tamanho da operação, pode ocorrer degradação da paisagem, além da geração de poeira e gases, pela circulação de máquinas, alterando a qualidade do ar (apenas naquele período), além da poluição sonora decorrida destas mesmas máquinas. Projetos paisagísticos aliados ao uso eficiente dos recursos utilizados podem reduzir sensivelmente estes embargos (DOS SANTOS *et al.*, 2016).

A possível aceleração de processos erosivos pela movimentação de terra durante a obra pode ser tranquilamente controlada através de sistemas de drenagem e manutenção adequada.

No que tange o meio biótico (fauna e flora), é possível que haja afugentamento de animais ou necessidade de remoção de vegetação local, caso a área de implantação não seja urbana ou desértica. Uma manutenção da cobertura vegetal na área de influência da obra e o monitoramento e resgate de espécies afetadas devem ser suficientes para minimizar estes problemas (COUTINHO, 2019).

3.1.3 Descarte

Por ser, ao mesmo tempo, uma tecnologia relativamente nova e com uma vida útil bem elevada (25 a 30 anos, em média), não existem estudos e histórico do descomissionamento de plantas fotovoltaicas. Desta forma, esse impacto é estimado a partir dos materiais que são empregados nestes empreendimentos (TOLMASQUIM, 2016).

Atualmente, quando um painel fotovoltaico envelhece ou é quebrado, as únicas partes que são recicladas são o vidro e o alumínio destes. O restante é queimado em fornos. Em 2018, no entanto, essa realidade começa vagarosamente a mudar, já que um grupo precursor, chamado Veolia, inaugurou, na Europa, a primeira usina de reciclagem de painéis fotovoltaicos. Por ser muito nova, não temos muitos dados sobre seus impactos no longo prazo (DE CLERCQ, 2018).

Podemos perceber que a maioria dos impactos negativos dos módulos solares se limitam à fase de extração e purificação da matéria prima (silício). Os custos ambientais dessas etapas dependem fortemente do mix de energias do país em que são realizadas. O Brasil não possui robustez tecnológica suficiente para efetuar a purificação do silício em grande escala, mas, caso conseguisse, os impactos iriam diminuir ainda mais, devido ao fato da matriz energética brasileira ser uma das mais limpas do mundo. As placas solares não causam impactos negativos durante seu funcionamento e custeiam suas externalidades ambientais em um período de tempo irrisório se comparado à sua vida útil (25 anos, em média), de modo que seus aspectos positivos perduram durante toda a vida.

3.2 Viabilidade Social

Em termos gerais, Impacto Social é como projetos, organizações, empresas e ações afetam a comunidade circundante. Nesta seção serão descritos dois pontos cruciais em que estes empreendimentos podem afetar positivamente a vida da comunidade que os circundam: A geração de empregos local e o acesso a melhores condições de vida.

3.2.1 Geração de empregos

O Brasil já é um case de sucesso no que tange geração de empregos a partir de energias renováveis. Através de um relatório emitido anualmente pela Agência Internacional para as Energias Renováveis (IRENA), percebe-se que o Brasil, em 2019, foi o maior empregador do mundo no mercado de biocombustíveis.

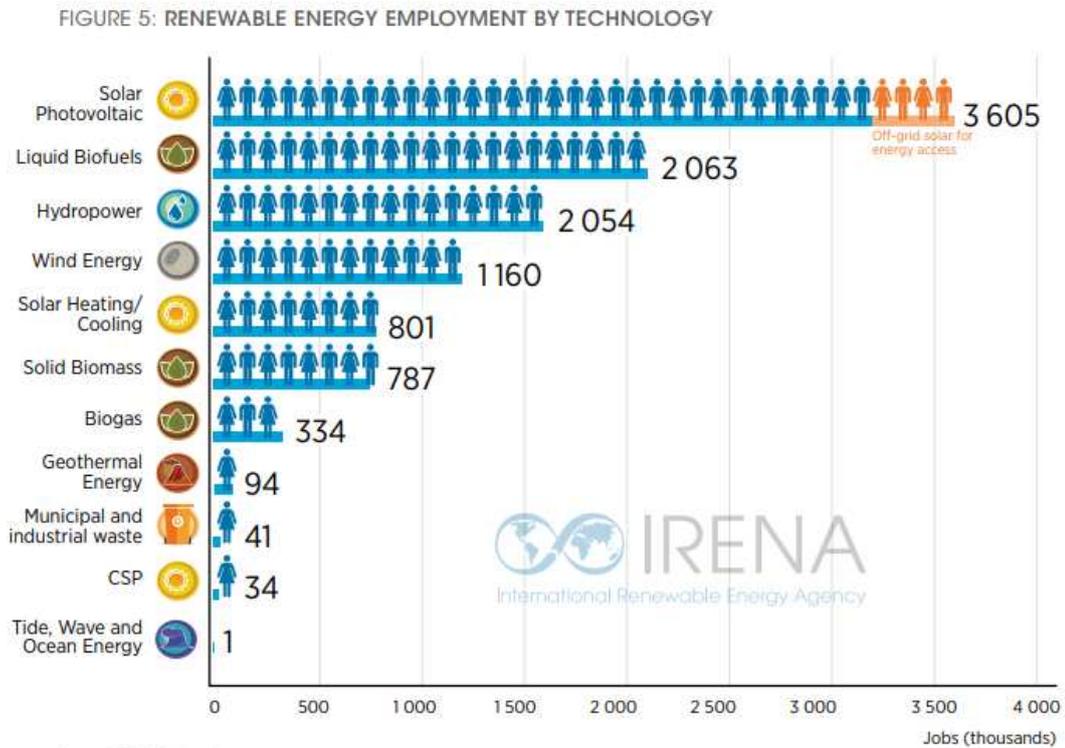
Figura 14 - Empregos gerados por diferentes fontes renováveis, no Brasil (2019)



Fonte: IRENA (2019)

Além disso, esta agência, no mesmo relatório, classificou a energia solar fotovoltaica como a que mais gerou empregos dentre as fontes de energias renováveis, ao redor do mundo, em 2019, como mostra a figura abaixo.

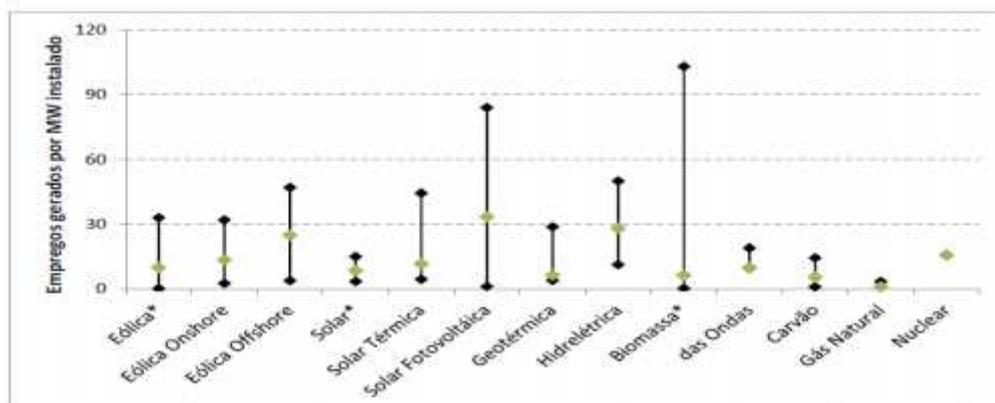
Figura 15 - Empregos gerados por energia renovável por tecnologia



Fonte: IRENA (2019)

Um estudo feito por RODRIGUES (2018), analisando a geração de empregos por MW instalado em diferentes fontes de energia revelou a grande capacidade geradora de empregos da energia solar fotovoltaica.

Figura 16 - Potencial de Geração de Empregos por MW Instalado



Fonte: SIMAS (2012)

O gráfico foi feito a partir da síntese de uma gama de fontes bibliográficas acerca do potencial de geração de emprego de diferentes fontes de geração de energia, por MW instalado. Os pontos máximos e mínimos encontrados na literatura estão acima explicitados,

bem como a mediana, em verde. Percebe-se que a energia solar fotovoltaica apresentou a maior mediana dentre todas as fontes pesquisadas.

3.2.2 Acesso a Saneamento Básico

Um levantamento feito pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) divulgado em 16 de outubro de 2020, concluiu que Fortaleza consagrou-se como a maior economia do Nordeste, a partir de 2018.

Apesar dessa notável conquista, um estudo realizado por pesquisadores da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS), do Observatório das Metrôpoles e do Observatório da Dívida Social na América Latina (RedODSAL) revelou que a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) ocupa a 5ª posição no ranking de desigualdade de renda das grandes metrôpoles.

Quem mais sofre com a desigualdade de renda são as comunidades mais pobres, que são privados das mais básicas condições de existência dignas, tais quais acesso à água potável e saneamento básico.

De acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS) – ano base 2018, 77,3% da população do município tem abastecimento de água tratada e é estimado que apenas 49,9% tenham acesso a um sistema de coleta de esgoto.

Um dos motivos para esse baixo atendimento de esgoto é a inviabilidade energética devido à dificuldade de disponibilizar linhas de atendimento à novas regiões (usualmente mais afastadas). Tolmasquim (2016), sugere que sistemas descentralizados universalizariam o acesso à energia de maneira limpa e eficiente, uma vez que excluiria os custos e impactos relacionados à construção de novas linhas de transmissão.

A utilização da energia fotovoltaica em casas de baixa renda em sistemas de bombeamento de esgoto para prover saneamento básico iria reduzir doenças, melhorar a qualidade de vida e diminuir os gastos do estado com medicina curativa de doenças comunitárias advindas da ausência de sistemas de saneamento.

No que tange o acesso à água potável a partir da energia solar, um bom estudo de caso é a parceria feita pela ONG Saúde e Alegria e a Fundação Avina que, a partir da implantação de um poço artesiano de 65m bombeado a partir de energia fotovoltaica leva, através de um encanamento por gravidade, água a 248 moradores de uma comunidade indígena, além de energizar as lâmpadas e alguns eletrodomésticos das residências.

3.3 Viabilidade Econômica

O empreendimento em questão a ser analisado foi o de um sistema solar fotovoltaico com o objetivo de suprir a demanda de uma residência que consumisse o valor médio de uma família brasileira, de 162kWh/mês. (EPE, 2019). Foi feito um orçamento inicial com 3 empresas situadas na cidade de Fortaleza - CE e foi escolhida aquela que tinha a melhor avaliação pelo site “Portal Solar”, referência em informação sobre implantação sistemas fotovoltaicos. Optou-se pela de melhor qualidade visto que os preços dos três orçamentos foram bem semelhantes.

O empreendimento consiste em três módulos fotovoltaicos e um inversor, com os modelos e quantidades especificados na tabela XX e ocupando 7 m² de área no telhado de uma residência.

Tabela 2 - Detalhamento partes do empreendimento individual

| Item | Modelo | Quantidade |
|----------|---|------------|
| Módulo | ULICA MONO HALF-CUT 450W 450 | 3 |
| Inversor | MICROINVERSOR HOYMILES MI-1500 1.500 | 1 |

Fonte: Empresa “A”

O custo do empreendimento, contando com instalação e garantias, é de R\$9.407,45.

Além do custo inicial, os outros fatores que impactam a viabilidade econômica das placas solares são: o preço da energia e a taxa de interesse (juros).

Foram construídos três cenários distintos para considerar estes fatores, variando-se as “bandeiras” e tarifas de energia. As bandeiras tarifárias são adicionais no custo da energia que são instituídos pelo governo federal quando há uma situação de crise energética, com o propósito de desestimular o consumo e suprir prejuízo das companhias de energia. Elas são acionadas a partir de gatilhos pré-determinados, estipulados ao fim do período de chuvas anterior. Abaixo estão explicitadas as bandeiras em uso atualmente:

Tabela 3 - Bandeiras em uso atualmente

| Cor da Bandeira | Valor (R\$/MWh) |
|-----------------|-----------------|
| Verde | 0 |
| Amarela | 18,74 |

| | |
|---------------|--------|
| Vermelha 1 | 39,71 |
| Vermelha 2 | 94,92 |
| Crise Hídrica | 142,00 |

Fonte: ANEEL (2021)

Hoje, o Brasil vive em uma situação de crise hídrica e energética, então estamos sob efeito da bandeira crise hídrica, de adicional de R\$0,142 por Kwh/mês, totalizando R\$96,885 a cada 100kWh/mês consumido (ANEEL).

Segundo a ANEEL, o acúmulo médio do reajuste de energia entre os anos de 2014 e 2017 foi de cerca de 11% ao ano. Com base nos dados emitidos anualmente pelo Banco Central, vê-se que a média da inflação no mesmo período foi de 6,6%. Verifica-se, portanto, que o reajuste tarifário foi de cerca de 4,5% pontos acima da inflação de cada ano. Sendo assim, o empreendimento foi avaliado em três cenários em termos de reajuste tarifário, um otimista, um moderado e um pessimista, descritos a seguir.

O Cenário 1, o mais otimista, parte do pressuposto que a crise que vivemos hoje é passageira, e que o Brasil irá retomar um patamar energético saudável em breve. Para este, adotou-se a bandeira amarela como uma plausível bandeira média no longo prazo. O reajuste da tarifa energética irá apenas cobrir a inflação, com um acréscimo de 2,5% ao ano, uma mínima histórica (COUTINHO, 2019).

O Cenário 2, o moderado, parte do pressuposto que a crise atual irá passar, mas as futuras irão ocorrer em intervalos de tempo cada vez menores, aumentando a frequência de utilização de bandeiras mais críticas. Para este, adotou-se a uma média entre a utilizada no período anterior ao crítico atual (2019) e a bandeira vermelha-2, em vigor na crise (optou-se pela não utilização da bandeira de crise hídrica visto que ela é, em teoria, temporária e pontual). Também será adotado um acréscimo de 10% sobre a tarifa básica de consumo, como reajuste esperado pela crise atual. O reajuste da tarifa energética será de 3,5% ao ano.

O Cenário 3, o mais pessimista, considera que o impacto causado pelas mudanças climáticas atuais e da variabilidade de baixa frequência do clima irão manter o Brasil em um patamar de desconforto hídrico pelos anos que virão. Crises mais constantes aliadas a uma possível mudança do patamar hídrico nacional serão o cenário mais crítico abordado neste estudo. Para tal, a bandeira média utilizada para o período será a média entre as bandeiras vermelha-1 e vermelha-2 em vigor na crise atual (2021). Também será adotado um acréscimo de 20% sobre a tarifa básica de consumo, como reajuste esperado por uma severa crise. O reajuste da tarifa energética será de 4,5% ao ano.

Vale ressaltar que, a fim de manter a análise desse estudo o mais conservador possível, que mesmo no cenário mais pessimista optou-se por utilizar uma taxa de reajuste igual à média dos últimos anos, fora de períodos de crise aguda.

A taxa de juros utilizada para o empreendimento foi a TJLP (Taxa de Juros a Longo Prazo), e a taxa de inflação considerada foi de 3.7%, uma média das previsões para o IPCA para os próximos anos.

Tabela 4 - Previsões para o IPCA para os próximos anos

| ANO | IPCA |
|-------|-------|
| 2020 | 3,85% |
| 2021 | 3,78% |
| 2022 | 3,60% |
| 2023 | 3,55% |
| MÉDIA | 3,70% |

Fonte: COUTINHO (2019)

Tabela 5 - Detalhamento dos Cenários

| Cenário | Tarifa Base (100 kWh) | Bandeira Adicional (100 kWh) | Cálculo da Bandeira | Reajuste Anual da Tarifa total |
|------------------|-----------------------|------------------------------|--|--------------------------------|
| Atual (Set/2021) | R\$82,685 | 14,20 | Bandeira - Crise Hídrica (2021) | - |
| Cenário 1 | R\$82,685 | R\$1,343 | Bandeira Amarela (2019) | Inflação + 2,5% a.a |
| Cenário 2 | R\$90,9535 | R\$5,4175 | Média (Bandeira Amarela (2019) e Bandeira Vermelha 2 (2021)) | Inflação + 3.5% a.a |
| Cenário 3 | R\$99,222 | R\$6,7315 | Bandeira Média Vermelha 1 e Vermelha 2 (2021) | Inflação +4.5% a.a |

Fonte: Autor

3.3.1 Empreendimento individual

O empreendimento individual foi avaliado através dos fluxos de caixa nos anexos

A.1, A.2 e A.3 neste trabalho, respectivamente para os três cenários anteriormente descritos. A tabela 6 apresenta uma síntese do resultado. A avaliação da viabilidade econômica se deu através de dois indicadores: i) O tempo de payback em anos, que nos mostra em quanto tempo o sistema produz energia o suficiente para se pagar, considerando o custo da tarifa de energia no momento; e ii) A taxa interna de retorno TIR que indica se o investimento é rentável e atrativo ao investidor. Uma TIR acima de 0 já configura que o investimento é lucrativo.

Tabela 6 - Detalhamento dos Cenários Propostos

| Cenário | Geração (kWh/mês) | Auto Consumo | Investimento Inicial | Reajuste Tarifário | Payback | Fluxo de Caixa Descontado | TIR |
|---------|-------------------|--------------|----------------------|-------------------------|---------|---------------------------|-----|
| A | 183 | 88,52% | R\$ 9.407,45 | Inflação + 2,5% a.a. | 7 Anos | 20.939,17 | 24% |
| B | | | | Inflação + 3,5% a.a. | 6 Anos | 29.604,16 | 28% |
| C | | | | Inflação + 4,5% a.a. | 5 Anos | 38.795,36 | 32% |

Fonte: Autor

Percebe-se pela síntese apresentada que o investimento é viável mesmo no cenário mais otimista em relação à crise, com tempo de payback de 7 anos, fluxo de caixa descontado de R\$20.939,17 e TIR de 24%. Isso mostra a robustez do empreendimento para o investidor individual, além de protegê-lo de futuros aumentos devido a incerteza acerca de nossa situação energética futura.

3.3.2 Investimento em larga escala na cidade de Fortaleza

Para avaliar o impacto que teria o empreendimento descrito no item 3.3.1. caso fosse implantado em larga escala pela cidade de Fortaleza. Segundo um censo feito pelo IBGE, em 2010 Fortaleza possuía 709.952 habitações. Pensando nisso, foram idealizados dois cenários:

- a) Cenário I: Implantação do empreendimento em 60% das residências de Fortaleza.
- b) Cenário II: Implantação do empreendimento em 30% das residências de Fortaleza.

A tabela 7 sintetiza os custos, com base no mesmo fluxo de caixa do item 3.3.1, e a geração atribuída a cada um desses cenários, sem levar em consideração a economia de escala que se teria em ambos os cenários.

Tabela 7 - Detalhamento dos cenários de escala

| Cenário | % Habitações | Custo | MWh Gerado Vida Útil | R\$/MWh |
|---------|--------------|----------------------|----------------------|---------|
| I | 60% | R\$ 4.005.607.542,95 | 21.388.226,29 | 187,28 |
| II | 30% | R\$ 2.002.804.712,22 | 10.694.118,17 | 187,28 |

Fonte: Autor

Uma pesquisa feita pela EPE em 2021 revelou que, em 2020, o estado do Ceará consumiu, entre Janeiro e Outubro, 3.741.014 MWh. Sendo assim, o cenário II supriu a demanda cearense neste período em 286%. Para o cenário I, o valor investido é alto, cerca de 4 bilhões de reais, porém quando analisamos o custo por MWh do empreendimento ao longo de sua vida útil (25 anos), vemos que este é cerca de 40% menor caso essa mesma quantidade de energia fosse contratada pelas fontes termelétricas, como é feito hoje (com base no último leilão, antes da crise hídrica atual, da ANEEL (2019) em que o MWh de energia térmica foi contratado por R\$292,00. Reiterando que na simulação não foi feita nenhuma espécie de economia de escala.

Este resultado indica que seria viável, em comparação com os gastos com energia termelétrica, o investimento em escala nesse empreendimento, especialmente se feito por meio de incentivo governamental baseado em financiamentos com juros baixos e prazos sustentáveis, a fim de incentivar pessoas de baixa renda a instalar painéis solares, visando a utilização em massa da energia solar.

3.3.3 Impacto do investimento em larga escala em Fortaleza na segurança hídrica do Nordeste

Considerando que a energia consumida em Fortaleza é proveniente em sua maior parte das hidrelétricas do Subsistema Nordeste, o investimento em larga escala em Fortaleza também traria benefícios do ponto de vista de segurança hídrica. Para medir esses benefícios, foi considerado o reservatório da usina de Sobradinho, o maior do Subsistema Nordeste e que vem enfrentando diminuição de vazão afluyente devido a variabilidade/mudança climáticas (ROCHA; SOUZA FILHO, 2020).

De acordo com Campos (2021), a produtividade média da Usina de Sobradinho, considerando o patamar atual de vazões afluentes, é da ordem de 61,4 Wh/m³ de água turbinada. Considerando que o Cenário II (em que o sistema fotovoltaico fosse implantado em apenas 30% das residências de Fortaleza) irá gerar, durante sua vida útil (25 anos), 10.694.118,17 MWh,

isso equivaleria a uma vazão na ordem de $223\text{m}^3/\text{s}$. A título de comparação, essa vazão é quase oito vezes a vazão máxima da transposição do Rio São Francisco para o Ceará, de $28\text{m}^3/\text{s}$ e mais de 20 vezes a operacional, de $10\text{m}^3/\text{s}$.

4 CONCLUSÃO

Com base nos pontos levantados acima, podemos gerar conclusões embasadas sobre a viabilidade deste investimento em Fortaleza.

Quanto à viabilidade ambiental, fica nítido pela revisão bibliográfica feita que mesmo quando analisamos os trabalhos de variados autores que utilizaram métodos distintos em diferentes anos que a geração de energia fotovoltaica sempre se mostrou extremamente positiva, mesmo quando comparada ao mix de energias utilizado atualmente em nosso país, já bem mais sustentável que a média mundial. Vale ressaltar, novamente, que os impactos ambientais que já são mínimos podem, ainda, serem diminuídos, caso trouxéssemos a tecnologia necessária para produção em massa da matéria prima do módulo fotovoltaico para solo nacional. Isso porque a maior parte dos danos ambientais no ciclo de vida do módulo vem da extração e produção de sua matéria prima. Sendo assim, os impactos relacionados a essa etapa estão diretamente relacionados à malha energética do país de produção. A produção sendo feita no Brasil, um dos países de malha energética mais verde do mundo, faria este investimento ainda mais sustentável do ponto de vista ambiental.

Quanto à viabilidade social, percebemos que a energia fotovoltaica está em uma crescente exponencial no que tange geração de empregos por MW instalado. Em 2019, foi a tecnologia renovável de geração de energia que mais empregou ao redor do globo, além de um estudo feito por Rodrigues em 2018 em território nacional demonstrar de maneira mais focada seu potencial em nosso território. Além disso, o caráter descentralizado da energia solar fotovoltaica também teria utilidade para universalizar o acesso à energia elétrica em comunidades carentes, o que serviria, por exemplo, para alimentar bombas que trariam acesso ao saneamento básico a estas pessoas, diminuindo a contaminação por doenças relacionadas à falta deste além do gasto público de saúde no combate à estas.

A viabilidade econômica do empreendimento individual foi comprovada em todos os cenários elaborados neste trabalho, com o payback do investimento variando de 7 a 5 anos dentro de uma vida útil de 25, gerando um retorno sobre o investimento agradabilíssimo para o investidor individual, além de uma atrativa taxa interna de retorno (24% a 32%). Índices esses que só tendem a melhorar em épocas de crise energética, trazendo segurança ao próprio investidor.

No que tange o investimento em larga escala na cidade de Fortaleza, percebemos que se o empreendimento fosse aplicado em apenas 30% de suas residências, a energia gerada em sua vida útil seria o suficiente para alimentar o Ceará inteiro por um período de quase 3

anos (especificar). Além disso, quando mensuramos o impacto que mesmo o cenário pessimista teria em termos de segurança hídrica para o Nordeste, vemos que a energia gerada na vida útil do empreendimento corresponderia a uma vazão na ordem de 223 m³/s, oito vezes superior à vazão máxima da transposição do Rio São Francisco para o Ceará.

Tendo como base a discussão traçada neste artigo, percebemos que o investimento em energia solar fotovoltaica nas residências de Fortaleza é sim viável, tanto do ponto de vista ambiental quanto do social e também do econômico, trazendo, além de segurança energética, conforto saúde e emprego aos habitantes, também segurança hídrica para a região do Nordeste.

REFERÊNCIAS

ALSEMA, Erik. Energy payback time and CO2 emissions of PV systems. In: **Practical Handbook of Photovoltaics**. Academic Press, 2012. p. 1097-1117.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa N° 482, de 17 de abril de 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2021.

Aprovado edital do leilão A-6 deste ano. ANEEL, 2019. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/id/19223109>. Acesso em: 10/09/2021.

Balanco Energético Nacional (BEN) 2021. EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>>. Acesso em: 20 ago. 2021.

BESSO, R. **Sistema solar fotovoltaico conectado à rede: estudo de caso no centro de tecnologia da UFRJ**. 2017. 87f. Projeto de Graduação – Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.

BRASIL. **Lei nº 9.991**, de 24 de julho de 2000. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, DF, jul 2000.

CAMPOS, Erika Ferraz. **Hybrid hydro-solar power generation for increasing water and energy securities in the São Francisco river: exploring local and regional effects during severe drought**. 2021. Doctorate Thesis. INPE. São José dos Campos.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2000. Resolução nº 1, 23 de Janeiro de 1986. Ministério do Meio Ambiente, 1986.

DE CLERCQ, G. Europe's first solar panel recycling plant opens in France. **Reuters**, 2018. Disponível em: <<https://www.reuters.com/article/us-solar-recycling-idUSKBN1JL28Z>>. Acesso em: 23 ago. 2021.

DE JONG, Pieter *et al.* Hydroelectric production from Brazil's São Francisco River could cease due to climate change and inter-annual variability. **Science of the Total Environment**, v. 634, p. 1540-1553, 2018.

DE LIMA, Francisco José Lopes *et al.* The seasonal variability and trends for the surface solar irradiation in northeastern region of Brazil. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 35, p. 335-346, 2019.

DE OLIVEIRA, Vinícius A. *et al.* Assessment of climate change impacts on streamflow and hydropower potential in the headwater region of the Grande river basin, Southeastern Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 15, p. 5005-5023, 2017.

Energia renovável chega a quase 50% da matriz energética brasileira. **Governo do Brasil**, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/08/energia-renovavel-chega-a-quase-50-da-matriz-eletrica-brasileira-1>>. Acesso em: 10 set. 2021.

FTHENAKIS, Vasilis M.; KIM, Hyung Chul. Photovoltaics: Life-cycle analyses. **Solar Energy**, v. 85, n. 8, p. 1609-1628, 2011.

FUKUROZAKI, S. H.; ZILLES, R.; SAUER, I. L. Energy payback time and CO2 emissions of 1.2 kWp photovoltaic roof-top system in Brazil. **Int J Smart Grid Clean Energy**, v. 2, p. 164-9, 2013.

HERCULANO, Daniel. Fortaleza ultrapassa Salvador e se torna maior economia do Nordeste. **Ceará Governo do Estado**, 2020. Disponível em: <<https://www.ceara.gov.br/2020/12/16/fortaleza-ultrapassa-salvador-e-se-torna-maior-economia-do-nordeste/>>. Acesso em: 15 set. 2021.

IEA - International Energy Agency. Photovoltaic Power Systems Programme. **PVPS Annual Report**, 2019.

JUNQUEIRA, Rafael Coelho; UTURBEY, Wadaed. Valoração econômica de impactos ambientais da energia solar fotovoltaica: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 8, n. 1, p. 50-58, 2017.

LANDEIRA, Juan Lourenço Fandino. **Análise técnico-econômica sobre a viabilidade de implantação de sistemas de geração fotovoltaica distribuída no Brasil**. 2013. 123f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Elétrica, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2013.

LUQUE, Antonio; HEGEDUS, Steven. **Handbook of photovoltaic science and engineering**. England: John Wiley & Sons, 2011.

Matriz Energética e Elétrica1. **EPE – Empresa de Pesquisa Energética**, 2019. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 02 set. 2021.

MME – Ministério de Minas e Energia. Relatório. **Programa de desenvolvimento da geração distribuída de energia elétrica – ProGD**. Brasília, 2016.

NOGUEIRA, P. C. **Estudo de viabilidade econômica da instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica de energia do Rio de Janeiro: um estudo de caso**. Rio de Janeiro, 2016.

OLIVEIRA, Adriana de Souza. **Avaliação de Impactos Ambientais do Módulo Fotovoltaico: Produção e Uso como Fonte de Energia Elétrica**. 2017. 77f. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

Renewable Energy and Jobs - Annual Review 2019. **IRENA – Internacional Renewable Energy Agency**, 2019. Disponível em: <

<https://www.irena.org/publications/2019/Jun/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2019>>. Acesso em: 10 set. 2021.

RIBEIRO, Celso Munhoz; GIANNETTI, Biagio F.; ALMEIDA, C. M. V. B. Avaliação do ciclo de vida (ACV): uma ferramenta importante da Ecologia Industrial. **Revista de Graduação da Engenharia Química**, v. 11, p. 13-23, 2003.

ROCHA, Renan Vieira; DE SOUZA FILHO, Francisco de Assis. Mapping abrupt streamflow shift in an abrupt climate shift through multiple change point methodologies: Brazil case study. **Hydrological Sciences Journal**, v. 65, n. 16, p. 2783-2796, 2020.

RODRIGUES, Márcio Aparecido Oliveira; SHAYANI, Rafael Amaral; DE OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves. Análise de impactos técnico e social da utilização da energia solar fotovoltaica no distrito federal. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**. 2018.

ROSA, Luiz Pinguelli. Geração hidrelétrica, termelétrica e nuclear. **Estudos Avançados**, v. 21, p. 39-58, 2007.

SILVA, Lara Raquel de Jesus Rodrigues; SHAYANI, Rafael Amaral; DE OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves. Análise comparativa das fontes de energia solar fotovoltaica, hidrelétrica e termelétrica, com levantamento de custos ambientais. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**, Rio Grande do Sul, 2018.

SILVEIRA, C.; SOUZA FILHO, F.; VASCONCELOS JUNIOR, F.; ARAUJO JUNIOR, L.; CABRAL, S. Mudanças climáticas e o setor hidroelétrico brasileiro: uma análise com base em modelos do ipcc-ar5. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, n. 47, p. 46-60, 2 abr. 2018.

STEPHENS, E. *et al.* Future prospects of microalgal biofuel production systems. **Trends in plant Science**, vol. 15, n. 10, pp. 554-64, 2010.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos estudos**, p. 47-69, 2007.

TOLMASQUIM, M. **Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

ANEXO A – DETALHAMENTO DOS CÁLCULOS UTILIZADOS NA SIMULAÇÃO

| ANO | GERAÇÃO ANUAL (kWh) | TARIFA | O & M | RECEITA NOMINAL | RECEITA LÍQUIDA | FLUXO DE CAIXA SIMPLES | VALOR PRESENTE | FLUXO DE CAIXA DESCONTO DO |
|-----|-----------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 0 | - | - | - | - Invest. Inicial | - Invest. Inicial | - Invest. Inicial | - Invest. Inicial | - Invest. Inicial |
| 1 | Geração Contratada | Tarifa Ano 1 | -1% Invest. Inicial | Geração Anual 1 * Tarifa Ano 1 | Receita Nominal Ano 1 + O&M | Fluxo 0 + Receita Líquida 1 | Receita Líquida 1 / (1 + Taxa)^1 | Fluxo Descontado 0 + Valor Presente 1 |
| 2 | Geração ano 1 - 0,75% | Tarifa Ano 1 + Reajuste | -1% Invest. Inicial | Geração Anual 2 * Tarifa Ano 2 | Receita Nominal Ano 2 + O&M | Fluxo 1 + Receita Líquida 2 | Receita Líquida 2 / (1 + Taxa)^2 | Fluxo Descontado 1 + Valor Presente 2 |
| 3 | Geração ano 2 - 0,75% | Tarifa Ano 2 + Reajuste | -1% Invest. Inicial | Geração Anual 3 * Tarifa Ano 3 | Receita Nominal Ano 3 + O&M | Fluxo 2 + Receita Líquida 3 | Receita Líquida 3 / (1 + Taxa)^3 | Fluxo Descontado 2 + Valor Presente 3 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

Fonte: Elaboração própria

ANEXO B – FLUXO DE CAIXA EMPREENDIMENTO INDIVIDUAL CENÁRIO 1

| ANO | GERAÇÃO ANUAL (kWh) (INFERI RENDIMENTO - 0.75%) | TARIFA (INFERI REAJUSTE 2.5%) | O & M (?) | RECEITA NOMINAL | RECEITA LÍQUIDA | FLUXO DE CAIXA SIMPLES | VALOR PRESENTE (INFERI INFLAÇÃO 4,61 + 3,7% a.a) | FLUXO DE CAIXA DESCONTADO |
|-----|---|-------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|------------------------|--|---------------------------|
| 0 | - | - | - | -9.407,45 | -9.407,45 | -9.407,45 | -9.407,45 | -9.407,45 |
| 1 | 2.196,00 | 0,84 | -94,07 | 1.845,25 | 1.751,18 | -7.656,27 | 1.616,82 | -7.790,63 |
| 2 | 2.179,53 | 0,89 | -94,07 | 1.944,96 | 1.850,89 | -5.805,38 | 1.577,77 | -6.212,86 |
| 3 | 2.163,18 | 0,95 | -94,07 | 2.050,06 | 1.955,98 | -3.849,40 | 1.539,43 | -4.673,43 |
| 4 | 2.146,96 | 1,01 | -94,07 | 2.160,83 | 2.066,76 | -1.782,64 | 1.501,81 | -3.171,62 |
| 5 | 2.130,86 | 1,07 | -94,07 | 2.277,59 | 2.183,52 | 400,88 | 1.464,92 | -1.706,70 |
| 6 | 2.114,88 | 1,14 | -94,07 | 2.400,66 | 2.306,59 | 2.707,47 | 1.428,76 | -277,94 |
| 7 | 2.099,01 | 1,21 | -94,07 | 2.530,38 | 2.436,31 | 5.143,78 | 1.393,33 | 1.115,39 |
| 8 | 2.083,27 | 1,28 | -94,07 | 2.667,11 | 2.573,04 | 7.716,82 | 1.358,62 | 2.474,01 |
| 9 | 2.067,65 | 1,36 | -94,07 | 2.811,23 | 2.717,16 | 10.433,98 | 1.324,64 | 3.798,65 |
| 10 | 2.052,14 | 1,44 | -94,07 | 2.963,14 | 2.869,06 | 13.303,04 | 1.291,38 | 5.090,03 |
| 11 | 2.036,75 | 1,53 | -94,07 | 3.123,25 | 3.029,18 | 16.332,22 | 1.258,84 | 6.348,87 |
| 12 | 2.021,47 | 1,63 | -94,07 | 3.292,01 | 3.197,94 | 19.530,16 | 1.227,01 | 7.575,88 |
| 13 | 2.006,31 | 1,73 | -94,07 | 3.469,90 | 3.375,82 | 22.905,98 | 1.195,88 | 8.771,76 |
| 14 | 1.991,26 | 1,84 | -94,07 | 3.657,39 | 3.563,32 | 26.469,30 | 1.165,45 | 9.937,21 |
| 15 | 1.976,33 | 1,95 | -94,07 | 3.855,02 | 3.760,95 | 30.230,25 | 1.135,71 | 11.072,93 |

| | | | | | | | | |
|----|----------|------|--------|----------|----------|-----------|----------|-----------|
| 16 | 1.961,51 | 2,07 | -94,07 | 4.063,33 | 3.969,25 | 34.199,50 | 1.106,65 | 12.179,58 |
| 17 | 1.946,80 | 2,20 | -94,07 | 4.282,89 | 4.188,82 | 38.388,32 | 1.078,27 | 13.257,85 |
| 18 | 1.932,20 | 2,34 | -94,07 | 4.514,32 | 4.420,24 | 42.808,56 | 1.050,54 | 14.308,39 |
| 19 | 1.917,70 | 2,48 | -94,07 | 4.758,25 | 4.664,17 | 47.472,73 | 1.023,46 | 15.331,85 |
| 20 | 1.903,32 | 2,64 | -94,07 | 5.015,36 | 4.921,28 | 52.394,01 | 997,03 | 16.328,88 |
| 21 | 1.889,05 | 2,80 | -94,07 | 5.286,36 | 5.192,29 | 57.586,30 | 971,22 | 17.300,10 |
| 22 | 1.874,88 | 2,97 | -94,07 | 5.572,01 | 5.477,94 | 63.064,24 | 946,04 | 18.246,14 |
| 23 | 1.860,82 | 3,16 | -94,07 | 5.873,10 | 5.779,02 | 68.843,26 | 921,46 | 19.167,60 |
| 24 | 1.846,86 | 3,35 | -94,07 | 6.190,45 | 6.096,37 | 74.939,64 | 897,48 | 20.065,08 |
| 25 | 1.833,01 | 3,56 | -94,07 | 6.524,95 | 6.430,87 | 81.370,51 | 874,09 | 20.939,17 |

Fonte: Elaboração do autor

ANEXO C – FLUXO DE CAIXA EMPREENDIMENTO INDIVIDUAL CENÁRIO 2

| ANO | GERAÇÃO ANUAL (kWh) (INFERI RENDIMENTO - 0.75%) | TARIFA (INFERI REAJUSTE 2.5%) | O & M (?) | RECEITA NOMINAL | RECEITA LÍQUIDA | FLUXO DE CAIXA SIMPLES | VALOR PRESENTE (INFERI INFLAÇÃO 4,61 + 3,7% a.a) | FLUXO DE CAIXA DESCONTA DO |
|-----|---|-------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|------------------------|--|----------------------------|
| 0 | - | | | -9.407,45 | -9.407,45 | -9.407,45 | -9.407,45 | -9.407,45 |
| 1 | 2.196,00 | 0,88 | -94,07 | 1.934,73 | 1.840,66 | -7.566,79 | 1.699,43 | -7.708,02 |
| 2 | 2.179,53 | 0,94 | -94,07 | 2.039,27 | 1.945,20 | -5.621,59 | 1.658,16 | -6.049,85 |
| 3 | 2.163,18 | 0,99 | -94,07 | 2.149,47 | 2.055,39 | -3.566,20 | 1.617,67 | -4.432,19 |
| 4 | 2.146,96 | 1,06 | -94,07 | 2.265,61 | 2.171,54 | -1.394,66 | 1.577,95 | -2.854,24 |
| 5 | 2.130,86 | 1,12 | -94,07 | 2.388,04 | 2.293,96 | 899,30 | 1.539,02 | -1.315,22 |
| 6 | 2.114,88 | 1,19 | -94,07 | 2.517,07 | 2.423,00 | 3.322,29 | 1.500,87 | 185,64 |
| 7 | 2.099,01 | 1,26 | -94,07 | 2.653,08 | 2.559,01 | 5.881,30 | 1.463,50 | 1.649,14 |
| 8 | 2.083,27 | 1,34 | -94,07 | 2.796,44 | 2.702,37 | 8.583,67 | 1.426,91 | 3.076,05 |
| 9 | 2.067,65 | 1,43 | -94,07 | 2.947,55 | 2.853,47 | 11.437,14 | 1.391,09 | 4.467,14 |
| 10 | 2.052,14 | 1,51 | -94,07 | 3.106,82 | 3.012,74 | 14.449,89 | 1.356,05 | 5.823,20 |
| 11 | 2.036,75 | 1,61 | -94,07 | 3.274,70 | 3.180,62 | 17.630,51 | 1.321,78 | 7.144,97 |
| 12 | 2.021,47 | 1,71 | -94,07 | 3.451,64 | 3.357,57 | 20.988,08 | 1.288,26 | 8.433,23 |
| 13 | 2.006,31 | 1,81 | -94,07 | 3.638,15 | 3.544,08 | 24.532,15 | 1.255,49 | 9.688,71 |
| 14 | 1.991,26 | 1,93 | -94,07 | 3.834,74 | 3.740,67 | 28.272,82 | 1.223,46 | 10.912,17 |
| 15 | 1.976,33 | 2,05 | -94,07 | 4.041,95 | 3.947,88 | 32.220,70 | 1.192,16 | 12.104,33 |

| | | | | | | | | |
|----|----------|------|--------|----------|----------|-----------|----------|-----------|
| 16 | 1.961,51 | 2,17 | -94,07 | 4.260,36 | 4.166,28 | 36.386,98 | 1.161,59 | 13.265,92 |
| 17 | 1.946,80 | 2,31 | -94,07 | 4.490,57 | 4.396,49 | 40.783,47 | 1.131,72 | 14.397,65 |
| 18 | 1.932,20 | 2,45 | -94,07 | 4.733,21 | 4.639,14 | 45.422,61 | 1.102,56 | 15.500,21 |
| 19 | 1.917,70 | 2,60 | -94,07 | 4.988,97 | 4.894,90 | 50.317,51 | 1.074,09 | 16.574,30 |
| 20 | 1.903,32 | 2,76 | -94,07 | 5.258,55 | 5.164,48 | 55.481,99 | 1.046,30 | 17.620,60 |
| 21 | 1.889,05 | 2,93 | -94,07 | 5.542,70 | 5.448,62 | 60.930,61 | 1.019,17 | 18.639,77 |
| 22 | 1.874,88 | 3,12 | -94,07 | 5.842,20 | 5.748,12 | 66.678,73 | 992,70 | 19.632,47 |
| 23 | 1.860,82 | 3,31 | -94,07 | 6.157,88 | 6.063,81 | 72.742,54 | 966,87 | 20.599,34 |
| 24 | 1.846,86 | 3,51 | -94,07 | 6.490,62 | 6.396,55 | 79.139,09 | 941,67 | 21.541,01 |
| 25 | 1.833,01 | 3,73 | -94,07 | 6.841,34 | 6.747,27 | 85.886,36 | 917,09 | 22.458,11 |

Fonte: Elaboração do autor

ANEXO D – FLUXO DE CAIXA EMPREENDIMENTO INDIVIDUAL CENÁRIO 3

| ANO | GERAÇÃO ANUAL (kWh) (INFERI RENDIMENTO - 0.75%) | TARIFA (INFERI REAJUSTE 2.5%) | O & M (?) | RECEITA NOMINAL | RECEITA LÍQUIDA | FLUXO DE CAIXA SIMPLES | VALOR PRESENTE (INFERI INFLAÇÃO 4,61 + 3,7% a.a) | FLUXO DE CAIXA DESCONTA DO |
|-----|---|-------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|------------------------|--|----------------------------|
| 0 | - | | | -9.407,45 | -9.407,45 | -9.407,45 | -9.407,45 | -9.407,45 |
| 1 | 2.196,00 | 0,89 | -94,07 | 1.963,59 | 1.869,51 | -7.537,94 | 1.726,08 | -7.681,37 |
| 2 | 2.179,53 | 0,95 | -94,07 | 2.069,69 | 1.975,61 | -5.562,32 | 1.684,09 | -5.997,29 |
| 3 | 2.163,18 | 1,01 | -94,07 | 2.181,52 | 2.087,45 | -3.474,87 | 1.642,90 | -4.354,39 |
| 4 | 2.146,96 | 1,07 | -94,07 | 2.299,40 | 2.205,33 | -1.269,55 | 1.602,50 | -2.751,89 |
| 5 | 2.130,86 | 1,14 | -94,07 | 2.423,65 | 2.329,58 | 1.060,03 | 1.562,91 | -1.188,97 |
| 6 | 2.114,88 | 1,21 | -94,07 | 2.554,61 | 2.460,54 | 3.520,57 | 1.524,12 | 335,14 |
| 7 | 2.099,01 | 1,28 | -94,07 | 2.692,65 | 2.598,58 | 6.119,15 | 1.486,13 | 1.821,27 |
| 8 | 2.083,27 | 1,36 | -94,07 | 2.838,15 | 2.744,07 | 8.863,22 | 1.448,93 | 3.270,20 |
| 9 | 2.067,65 | 1,45 | -94,07 | 2.991,51 | 2.897,43 | 11.760,66 | 1.412,53 | 4.682,73 |
| 10 | 2.052,14 | 1,54 | -94,07 | 3.153,15 | 3.059,08 | 14.819,74 | 1.376,91 | 6.059,64 |
| 11 | 2.036,75 | 1,63 | -94,07 | 3.323,54 | 3.229,46 | 18.049,20 | 1.342,07 | 7.401,71 |
| 12 | 2.021,47 | 1,73 | -94,07 | 3.503,12 | 3.409,05 | 21.458,25 | 1.308,01 | 8.709,72 |
| 13 | 2.006,31 | 1,84 | -94,07 | 3.692,41 | 3.598,34 | 25.056,59 | 1.274,71 | 9.984,43 |
| 14 | 1.991,26 | 1,95 | -94,07 | 3.891,93 | 3.797,86 | 28.854,44 | 1.242,16 | 11.226,59 |
| 15 | 1.976,33 | 2,08 | -94,07 | 4.102,23 | 4.008,16 | 32.862,60 | 1.210,37 | 12.436,96 |

| | | | | | | | | |
|----|----------|------|--------|----------|----------|-----------|----------|-----------|
| 16 | 1.961,51 | 2,20 | -94,07 | 4.323,90 | 4.229,82 | 37.092,43 | 1.179,30 | 13.616,26 |
| 17 | 1.946,80 | 2,34 | -94,07 | 4.557,54 | 4.463,47 | 41.555,89 | 1.148,96 | 14.765,22 |
| 18 | 1.932,20 | 2,49 | -94,07 | 4.803,81 | 4.709,73 | 46.265,63 | 1.119,34 | 15.884,57 |
| 19 | 1.917,70 | 2,64 | -94,07 | 5.063,38 | 4.969,31 | 51.234,93 | 1.090,42 | 16.974,98 |
| 20 | 1.903,32 | 2,80 | -94,07 | 5.336,98 | 5.242,91 | 56.477,84 | 1.062,19 | 18.037,17 |
| 21 | 1.889,05 | 2,98 | -94,07 | 5.625,36 | 5.531,29 | 62.009,13 | 1.034,63 | 19.071,80 |
| 22 | 1.874,88 | 3,16 | -94,07 | 5.929,33 | 5.835,26 | 67.844,38 | 1.007,75 | 20.079,55 |
| 23 | 1.860,82 | 3,36 | -94,07 | 6.249,72 | 6.155,65 | 74.000,03 | 981,52 | 21.061,07 |
| 24 | 1.846,86 | 3,57 | -94,07 | 6.587,43 | 6.493,35 | 80.493,38 | 955,92 | 22.016,99 |
| 25 | 1.833,01 | 3,79 | -94,07 | 6.943,38 | 6.849,30 | 87.342,69 | 930,96 | 22.947,95 |

Fonte: Elaboração Própria