

MIGUEL WOLFRING SIMÕES

PEDRO ALBERTO GIANNINI SILVA VASCONCELLOS

Avaliação Econômico-Financeira da Adesão à Energia Solar em uma
Concessionária de Automóveis no Município do Rio de Janeiro

PROJETO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
APRESENTADO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL
DA PUC-RIO, COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO
DO TÍTULO DE ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO

Orientador: Prof. Renato de Viveiros Lima

Departamento de Engenharia Industrial

Rio de Janeiro, 12 de junho de 2024.

Resumo

Alinhando-se as condições propícias de clima e de irradiação solar com o resultado financeiro da geração de energia por meio de seus sistemas, a energia solar apresenta um grande potencial de crescimento em terras brasileiras. Utilizando uma metodologia baseada em um estudo de caso de implementação de um sistema solar em uma concessionária de automóveis no estado do Rio de Janeiro, o presente trabalho apresenta projeções tanto da geração de energia solar quanto da esfera financeira para embasar a decisão tomada de implementar o projeto. Os resultados obtidos na análise comprovaram a viabilidade financeira da energia solar. Logo, além de sustentável, a energia solar comprova-se também como atrativa no quesito financeiro quando estruturada em condições favoráveis.

Palavras-chave: Energia Solar, Geração Distribuída, Matriz Energética, Viabilidade Financeira

Abstract

Aligning the favorable climate conditions and solar irradiation with the financial results from the energy generated through its systems, solar energy presents a great potential for growth in Brazilian lands. Using a methodology based on a case study of the implementation of a solar system in a car dealership in the state of Rio de Janeiro, projections were made for both solar energy generation and consequential financial results to support the decision to carry out the project. The results obtained by this analysis proved the financial viability of solar energy. Therefore, in addition to being sustainable, solar energy is also proving to be financially attractive when structured in favorable conditions.

Keywords: Solar Energy, Distributed Generation, Energy Mix, Financial Viability

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1 Análise de Viabilidade	11
2.2 Fluxo de Caixa Descontado.....	11
2.3 <i>Payback</i>	12
2.4 VPL	14
2.5 Taxa Interna de Retorno	15
3. ANÁLISE QUALITATIVA DO SETOR DE ENERGIA SOLAR	17
3.1 Linha do Tempo da Energia Solar.....	17
3.2 Energia Solar - Visão Global	18
3.3 Matriz Energética Brasileira.....	19
3.4 Energia Solar no Brasil	21
3.5 Geração Distribuída.....	24
3.6 Captação e Transformação da Energia Solar	26
3.7 Componentes de um Sistema Solar Fotovoltaico.....	26
3.8 Tipos de Sistemas de Energia Solar	27
3.9 Regulamentação da Energia Solar.....	29
3.10 Tarifas e Encargos do Setor Elétrico no Brasil	31
4. ESTUDO DE CASO	34
4.1 Consumo de Energia no Local	34
4.2 Características do Local de Implementação.....	35
4.3 Dimensionamento do Projeto	36
4.4 Equipamentos e Investimento Inicial	38
4.5 Premissas e Mecanismos da Análise.....	39
4.5.1 Geração, Consumo e Injeção de Energia.....	39
4.5.2 Custo de Energia.....	41
4.5.3 Custos de Manutenção dos Equipamentos	42

4.5.4 Custo de Capital.....	43
4.6 Análise de Viabilidade	44
4.6.1 Fluxo de Caixa Projetado	44
4.6.2 Indicadores Financeiros	45
4.7 Discussão dos Resultados.....	46
5. CONCLUSÃO	48
6. BIBLIOGRAFIA.....	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Irradiação Solar em Território brasileiro	23
Figura 2 - Irradiação Solar no Mundo	24
Figura 3 - Funcionamento de Sistemas Off-Grid e On-Grid	29
Figura 4 - Vista Superior do Terraço da Concessionária.....	36
Figura 5 - Vista Superior do Terraço com os Módulos Fotovoltaicos.....	37
Figura 6 - Irradiação Solar sobre a Concessionária	39
Figura 7 - Disposição dos Módulos Fotovoltaicos no Terraço	40
Figura 8 - Vista Ampla do Terraço com os Módulos Fotovoltaicos	40
Figura 9 - Quadro de Informações do Tesouro IPCA + 2045	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Matriz Energética Brasileira	8
Gráfico 2 – Capacidade Global Instalada de Energia Solar (em GW).....	18
Gráfico 3 - Evolução da Potência Instalada de Geração Solar Fotovoltaica no Mundo	19
Gráfico 4 - Evolução e Ranking Mundial da Potência Instalada de Energia Solar	19
Gráfico 5 - Matriz Elétrica Brasileira - 2022	20
Gráfico 6 - Evolução da Matriz Energética Brasileira entre Fontes Renováveis e Não Renováveis.....	21
Gráfico 7 – Potência Instalada de Geração Distribuída por Classe de Consumo no Brasil....	22
Gráfico 8 - Geração de Energia pelo Sistema Fotovoltaico.....	41
Gráfico 9 – Projeção da Curva do Custo de Energia	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de Energia na Concessionária.....	35
Tabela 2 - Equipamentos e Valores	38
Tabela 3 - Custo de Capital.....	44
Tabela 4 - Fluxo de Caixa Projetado para o Projeto	44
Tabela 5 - VPL e TIR do Projeto	46

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com o meio ambiente tem sido cada vez mais evidente, principalmente devido à sua deterioração gradual e contínua que vem ocorrendo nos últimos tempos. Entre as principais problemáticas, destacam-se o aumento das emissões de gases de efeito estufa, a degradação dos ecossistemas e a contaminação do meio ambiente, que são ocasionadas pela atividade humana.

A queima de combustível fóssil, por exemplo, é uma das principais fontes de emissão de dióxido de carbono (CO₂), um dos principais gases do efeito estufa (GEEs), na atmosfera. Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, 2022), a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou em 2,57 partes por milhão (ppm) em 2020, alcançando 4,14 ppm em dezembro do mesmo ano, a maior concentração já registrada até então. Dessa forma, com o agravo observado no quadro de aquecimento global, verifica-se, paralelamente, um aumento proporcional da busca global pelo combate dos problemas climáticos e ambientais.

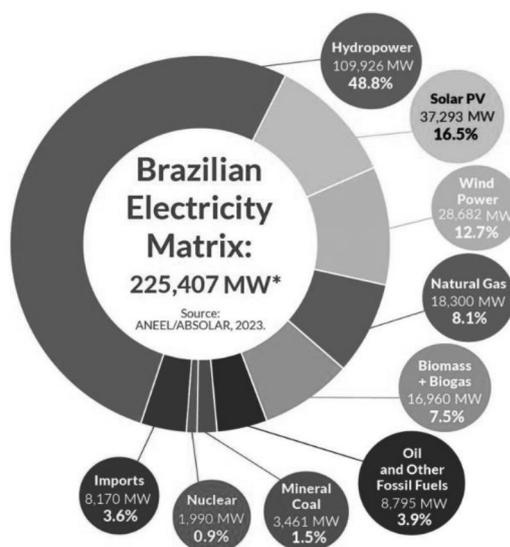
Ademais, em face dos obstáculos acima apresentados, observa-se, cada vez mais, reflexos de uma preocupação social com o meio ambiente no cotidiano, considerando, por exemplo, as mudanças de paradigmas em relação à sustentabilidade e maior compromisso com as questões ambientais, o que é evidente ao analisar ações como o comprometimento de países e corporações com a contenção do avanço do aquecimento global através de maior controle sobre a emissão dos GEEs.

Dentre tais reflexos, destaca-se a caminhada para uma transição energética de fontes fósseis – *aquelas cujo processo de geração envolve a queima de substâncias com alta concentração de carbono* - para fontes renováveis, cujo processo de produção de energia é menos nocivo ao meio ambiente. Além de tornar a produção de energia mais limpa, um eventual sucesso nesse movimento traria também uma maior diversidade nas fontes de energia, o que, por sua vez, reduziria a necessidade de matérias-primas degradantes ao meio ambiente tanto em sua obtenção quanto no processamento.

No contexto brasileiro, o país é reconhecido por sua liderança em energia renovável, especialmente pela geração de energia hidrelétrica. Nesse sentido, em levantamento feito pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) em conjunto com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) à respeito da matriz energética brasileira - *observada*

no Gráfico 1 - estima-se que, no ano de 2023, 85,5% da matriz energética brasileira era composta por fontes renováveis, sendo aproximadamente 50% proveniente de usinas hidrelétricas, 16,5% provenientes da energia solar, 12,7% da energia eólica e 7,5% proveniente da energia de biomassa. A fatia ocupada pela energia hidrelétrica é reflexo de investimentos e esforços realizados desde a instalação da primeira usina hidrelétrica em terras brasileiras ainda no século XIX.

Gráfico 1 – Matriz Energética Brasileira



Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2023

Quanto às energias renováveis não convencionais, ou seja, fontes de energia renovável cujo desenvolvimento e adesão ainda são recentes, há uma lacuna significativa quando se trata de aspectos climáticos e econômicos. Ainda assim, tais fontes de energia proveram em 2023 cerca de 37% da energia consumida nas residências e indústrias brasileiras.

Sob a perspectiva dos potenciais avanços nas fontes renováveis não convencionais para a evolução e adesão dessas modalidades em nosso país, pode-se destacar a energia solar, que, por meio de equipamentos que compõem os sistemas fotovoltaicos, transforma a irradiação proveniente da luz solar em energia elétrica.

Nesse contexto, as terras brasileiras têm uma imensa capacidade de geração de energia solar devido à abundância de irradiação solar que nelas incidem durante as mais de 2.200 horas anuais de luz natural (ABSOLAR, 2020). Tal exposição equivale a um potencial de 15 trilhões

de megawatts, proporcionando ao país uma oportunidade única para desenvolver e explorar essa fonte sustentável. Além de seu potencial de geração de energia, essa modalidade não só contribui para uma matriz energética mais limpa, com a redução das emissões de gases poluentes para geração de energia, como também proporciona benefícios econômicos aos seus usuários via redução dos custos de energia elétrica embasados pelo consumo *in loco* da energia gerada e pelo mecanismo de geração distribuída.

Para mais, de acordo com a ABSOLAR, o Brasil alcançou, no ano de 2022, o oitavo lugar no ranking mundial de países com maior potencial acumulado de energia solar fotovoltaica. Este dado reforça a importância de se expandir não só o uso da energia solar no país, como também o de outras fontes de energia, aproveitando seu vasto potencial para diversificar a matriz energética, tendo em vista que é um fator importante para poder suprir a demanda elétrica em situações de intermitência das fontes de energia, como em situações de baixa movimentação fluvial no caso das hidrelétricas, ou momentos de ociosidade de irradiação de luz, no caso da fonte solar, pontos que devem ser levados em consideração de forma a se complementar e garantir a oferta necessária de energia.

Além de expor a história da energia solar no Brasil e detalhar os motivos por trás do crescimento exponencial que tal modalidade de geração de energia tem apresentado no país, o presente trabalho se propõe a investigar a atratividade econômica de adesão à energia solar através da análise de um projeto implementado no ano de 2021 em uma concessionária de automóveis situada no Rio de Janeiro. Tal investigação se dará por meio de uma simulação do consumo e da geração de energia pela concessionária, levando em consideração as condições específicas do local de implementação e dos equipamentos selecionados para o projeto. Dessa forma, tem-se como objetivo a obtenção de conclusões que corroboram a implantação de energia solar como um complemento viável, sustentável e rentável ao modelo tradicional de consumo de energia.

Em seguida a essa introdução, no capítulo 2, serão explorados os conceitos e ferramentas de finanças que compõem o estudo de caso. Mais especificamente, serão apresentados os indicadores usados para análise de viabilidade e tomada de decisão a respeito de projetos, assim como o instrumento do qual tais indicadores são deduzidos.

Ademais, no capítulo 3, além de serem apresentados conceitos específicos de projetos de energia solar, como seu modo de funcionamento, seus componentes e suas classificações,

será realizada uma exposição do setor de energia solar no Brasil. Nela, serão apresentados a história e marcos de desenvolvimento de tal modalidade de geração de energia, assim como as principais legislações e políticas públicas que regem seu funcionamento.

Já no capítulo 4, será apresentado o estudo de caso. Nele, os leitores serão contextualizados sobre o caso da concessionária de automóveis, além de serem apresentados às premissas adotadas e aos resultados esperados do projeto. Ainda no capítulo 4, serão calculados e analisados os indicadores de viabilidade financeira do projeto de geração de energia solar instalado na concessionária.

Por fim, no capítulo 5, será desenvolvida a conclusão do trabalho, com a apresentação e discussão do resultado obtido no estudo de caso, indicando lacunas no processo de confecção deste estudo e sugestões para eventuais novos estudos feitos futuramente.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Análise de Viabilidade

A realização da análise de viabilidade de um projeto de implementação de painéis solares é essencial para verificar se o projeto é viável financeiramente para então, através de uma avaliação robusta e detalhada, garantir decisão mais assertiva a respeito do investimento.

No contexto da análise de viabilidade de projetos, Damodaran (apud Portugal, 2007) ressalta a importância de diversas abordagens para mensurar o valor de um ativo. Conforme demonstrado na literatura, essas abordagens se dividem em três categorias principais. A primeira abordagem engloba os modelos de fluxo de caixa descontado, os quais relacionam o preço de um ativo ao valor presente de seus fluxos de caixa futuros esperados. A segunda abordagem, por sua vez, diz respeito aos modelos de avaliação relativa, que estimam o valor de um ativo com base na precificação de ativos comparáveis. Por fim, a terceira abordagem se baseia nos modelos de precificação de opções, os quais buscam mensurar o valor de ativos de forma semelhante ao processo de avaliação de opções do mercado financeiro.

Neste estudo, será desenvolvida uma análise, principalmente, da abordagem de fluxo de caixa descontado, sendo escolhida devido à sua relevância na determinação da viabilidade econômica de projetos de implementação de painéis solares, permitindo uma compreensão mais aprofundada e abrangente dos potenciais retornos e riscos envolvidos.

Além disso, de acordo com Ayrão (2018), a principal forma de analisar a viabilidade de projetos fotovoltaicos é através do cálculo e avaliação dos seguintes indicadores: o Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e período de *payback* do investimento.

Posto isso, visando uma análise completa que garanta melhor compreensão acerca da viabilidade do investimento de energia solar, opta-se por projetar seu fluxo de caixa e, a partir do mesmo, aferir os indicadores supracitados.

2.2 Fluxo de Caixa Descontado

De acordo com Brigham e Houston (apud Portugal, 2007), a avaliação de um projeto de investimento segue as mesmas etapas da avaliação de uma ação ou título. Essas etapas incluem determinar o montante a ser investido no projeto, projetar os fluxos de caixa futuros, estimar o

risco desses fluxos, calcular o custo de capital, apurar o valor presente dos fluxos de caixa e, por fim, comparar o valor presente com o valor de investimento necessário. Seguidos esses passos, parte-se para a etapa de tomada de decisão do investimento.

O método do Fluxo de Caixa Descontado (FCD) é abrangente, capturando todos os elementos que impactam o valor do ativo e refletindo de forma consistente seu valor econômico. Além disso, o referido método é fundamentado na regra do Valor Presente Líquido (VPL), na qual o preço de um ativo é determinado pelos seus fluxos de caixa futuros trazidos a valor presente por uma taxa de desconto que incorpora o risco associado a esses fluxos, como destaca Copeland (apud Portugal, 2007). A principal característica da metodologia é explicitar as premissas utilizadas para a formação do valor, permitindo que essas premissas sejam testadas em diferentes cenários, como abordam Brigham e Houston (apud Portugal, 2007). Copeland afirma que, para entender o processo de criação de valor, é essencial adotar uma perspectiva de longo prazo e comparar os fluxos de caixa de diferentes períodos, ajustados de acordo com seus riscos (apud Portugal, 2007).

Os fluxos de caixa futuros devem ser projetados em dois períodos de tempo distintos: um horizonte de tempo definido, onde as projeções feitas linha a linha e período a período são viáveis e maleáveis, e um segundo período conhecido como perpetuidade. Nele, tomando como ponto de partida as projeções do último período do horizonte de tempo definido, presume-se uma estabilidade e baixo, porém constante, crescimento dali em diante.

Com a aplicação da metodologia do FCD mencionada anteriormente, torna-se possível calcular o valor presente dos fluxos de caixa, permitindo comparações e análises que auxiliam no entendimento e nas decisões de investimento.

2.3 Payback

Também conhecido como *payback*, o Período de Recuperação do Investimento é um indicador crucial na avaliação da viabilidade de um investimento, especialmente em um cenário de mudanças frequentes e significativas no mercado (Souza & Clemente, 2004).

O *payback* representa o número de períodos necessários para que o fluxo de benefícios de um investimento supere o capital investido (Souza & Clemente, 2004). De acordo com Damodaran (2002), este indicador pode ser uma métrica relevante para avaliar a liquidez do investimento e reduzir o risco. Além disso, quando combinada com outros indicadores, a análise

do *payback* pode fornecer uma visão mais precisa da relação entre valor e tempo de retorno dos investimentos.

Sobre esse relevante indicador na análise de viabilidade financeira de um investimento, apresenta-se abaixo seus dois tipos, destacando suas diferenças:

- **Payback Simples:** indica o tempo necessário para recuperar o valor investido, somando os fluxos de caixa líquidos dos períodos até que atinjam o valor em questão. Dado que considera os resultados líquidos de cada período sem nenhuma correção periódica, tal tipo de *payback* não leva em consideração o valor do dinheiro no tempo. Significa dizer que o *payback* simples considera que o dinheiro recebido em dado período tem o mesmo valor que o dinheiro recebido em períodos subsequentes.
- **Payback Descontado:** indica o tempo necessário para recuperar o valor investido, somando o valor dos fluxos de caixa líquidos corrigidos por uma taxa de desconto qualquer, até que a soma dos mesmos atinja o valor do investimento em questão. Isso quer dizer que, diferentemente do *payback* simples, no *payback* descontado corrige-se os resultados líquidos de cada período a uma taxa de desconto, seja ela a inflação do período ou uma taxa mínima de atratividade, de forma a considerar a flutuação do valor do capital no tempo.

A Fórmula 1 apresenta o cálculo do Período de Recuperação do Investimento (*payback*):

Fórmula 1 - Cálculo do Período de Recuperação do Investimento

$$PR = T \text{ quando } \sum_{t=0}^T FC_t = I_0$$

Fonte: Famá e Bruni (2003, p. 85)

Interpreta-se a fórmula como:

t é a quantidade de período de tempos, geralmente expresso em anos, que o dinheiro foi investido no projeto;

PR é o período de recuperação (*payback*);

FC_t é o fluxo de caixa para t = [0...n], podendo ser líquido ou descontado; e

Io é o fluxo de caixa no investimento inicial.

A Fórmula 1 permite calcular o tempo necessário para recuperar o investimento inicial com base nos fluxos de caixa gerados pelo projeto em cada período. Portanto, quanto menor o *payback*, mais rápido o investimento é recuperado, o que pode ser um indicativo de maior liquidez do mesmo.

2.4 VPL

O Valor Presente Líquido (VPL) é outra métrica fundamental para a determinação da viabilidade econômica do projeto, pois representa o valor presente de todos os fluxos de caixa futuros descontados a uma taxa de juros apropriada. Damodaran (2002) ressalta que o VPL positivo indica que o projeto gera mais valor do que a simples alternativa de investir em um ativo livre de risco, enquanto aqueles com VPL negativo têm custos que excedem seus benefícios, representando uma perda financeira (Berk e Demarzo, 2010).

O VPL é uma ferramenta essencial na avaliação de investimentos e, segundo Kassai et al. (2000), a referida métrica reflete a riqueza em termos monetários do investimento, sendo calculado como a diferença entre o valor presente das entradas de caixa e o valor presente das saídas de caixa, descontados a uma taxa de desconto específica.

Ademais, o cálculo do VPL depende da Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que é a taxa de desconto utilizada para trazer os fluxos de caixa futuros ao valor presente. Essa taxa é determinada pelo administrador ou investidor e reflete a taxa mínima que o projeto deve gerar de retorno para ser considerado viável (Hoji, 2000). Dessa forma, o VPL é uma métrica essencial na análise de viabilidade de projetos, na medida em que indica se o investimento gerará valor para a empresa ou se resultará em prejuízo financeiro.

A Fórmula 2 apresenta o cálculo do VPL:

Fórmula 2 - Cálculo do Valor Presente Líquido (VPL)

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t}$$

Fonte: Souza e Clemente (2004, p.75)

Onde:

t é a quantidade de período de tempos, geralmente expresso em anos, que o dinheiro foi investido no projeto;

n é o período de duração total do projeto;

i é o custo de capital; e

FC_t é o fluxo de caixa para t = [0...n].

A Fórmula 2 permite calcular o valor presente de todos os fluxos de caixa futuros gerados pelo projeto, descontados a uma taxa de juros apropriada e, caso o VPL seja positivo, indica que o projeto é viável, pois o retorno esperado é superior ao custo de oportunidade do investimento.

2.5 Taxa Interna de Retorno

A Taxa Interna de Retorno (TIR) também é uma métrica importante e uma das mais utilizadas no orçamento de capital (Gitman, 2002) por representar a taxa de desconto que torna o VPL igual a zero (Hoji, 2000). De acordo com Samanez (2010), a TIR representa a rentabilidade do investimento e deve ser comparada à Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para determinar a aceitabilidade do projeto.

Em outras palavras, a TIR é a taxa que, aplicada sobre os pagamentos e recebimentos de um projeto, faz com que o valor presente de ambos seja igual. Ou seja, a TIR representa a rentabilidade do projeto e é calculada de forma a igualar os fluxos de caixa em qualquer data focal.

Em relação à tomada de decisão com base na TIR, considera-se viável o projeto cuja TIR supera o custo de capital do mesmo. Caso contrário, o projeto deve ser rejeitado.

A Fórmula 3 apresenta o cálculo da Taxa Interna de Retorno:

Fórmula 3 - Cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR)

$$\sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

Fonte: Gitma (2002)

Considera-se para a fórmula os seguintes dados:

t é a quantidade de períodos;

FC_t é o fluxo de caixa para $t = [0...n]$;

TIR é a taxa interna de retorno; e

n é o número de períodos de capitalização.

3. ANÁLISE QUALITATIVA DO SETOR DE ENERGIA SOLAR

3.1 Linha do Tempo da Energia Solar

Desde sua descoberta, a história da energia solar é marcada por avanços significativos ao longo dos anos, culminando em sua posição atual como uma das principais fontes de energia renovável.

O início dos estudos sobre energia solar pode ser atribuído a Antoine Lavoisier, renomado químico francês do século XVIII, que auxiliou os primeiros passos na compreensão e aplicação desse conceito. Lavoisier, conhecido por suas contribuições para a química e a conservação da massa, foi um dos precursores no estudo da energia solar, lançando as bases para investigações posteriores que culminaram no desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica e térmica.

Em 1883, Charles Fritts construiu a primeira célula solar, utilizando selênio coberto com ouro, um marco inicial no desenvolvimento de tecnologias mais eficientes. Nas décadas seguintes, cientistas como Albert Einstein, na década de 1930, e avanços na utilização do silício nas células solares, nas décadas de 1950 e 1960, contribuíram para aumentar a eficiência da conversão de energia solar.

A energia solar teve sua estreia no espaço em 1958, alimentando um rádio transmissor em um satélite. Na década de 1970, a primeira casa movida a energia solar foi construída, demonstrando seu potencial como alternativa viável em tempos de crise energética. Já em 1981, Paul MacCready estabeleceu a viabilidade do transporte movido à energia solar com o voo inaugural de um avião alimentado por essa tecnologia.

Posteriormente, nos anos 1990, a eficiência das células solares ultrapassou 30% de conversão, e a capacidade global de instalação superou 1.000 megawatts (MW), consolidando a energia solar como opção viável em larga escala. Para mais, no início dos anos 2000, células solares com 40% de eficiência foram desenvolvidas, e a integração à rede elétrica tornou-se realidade em diversos países.

Verifica-se que a história da energia solar no Brasil ganhou destaque a partir da segunda década do século XXI. Em 2011, foi inaugurada no Ceará a primeira usina solar brasileira, dando início ao desenvolvimento do setor em terras brasileiras. Um ano depois, no ano de 2012,

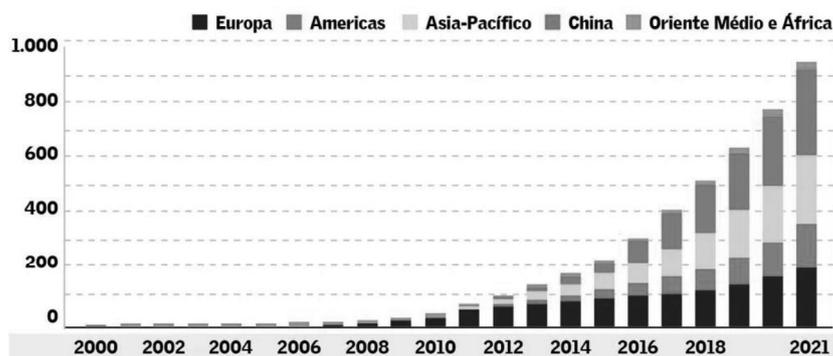
a Resolução Normativa 482 da ANEEL impulsionou a geração distribuída e a compensação de energia. Em 2022, o Brasil se tornou o oitavo maior país em capacidade instalada, com perspectivas de crescimento exponencial nos próximos anos.

3.2 Energia Solar - Visão Global

Tendo apresentado um crescimento exponencial ao longo da última década, conforme apresentado no Gráfico 2, a energia solar consolidou-se como uma das mais promissoras fontes ativas de energia renovável no mundo.

Segundo o relatório da Agência Internacional de Energia (IEA), as energias renováveis, como a solar, devem impulsionar mais de 95% do crescimento global da eletricidade nos próximos anos, superando o carvão e se tornando a principal fonte de energia elétrica mundial até o início de 2026 (Casarin, 2024).

Gráfico 2 – Capacidade Global Instalada de Energia Solar (em GW)

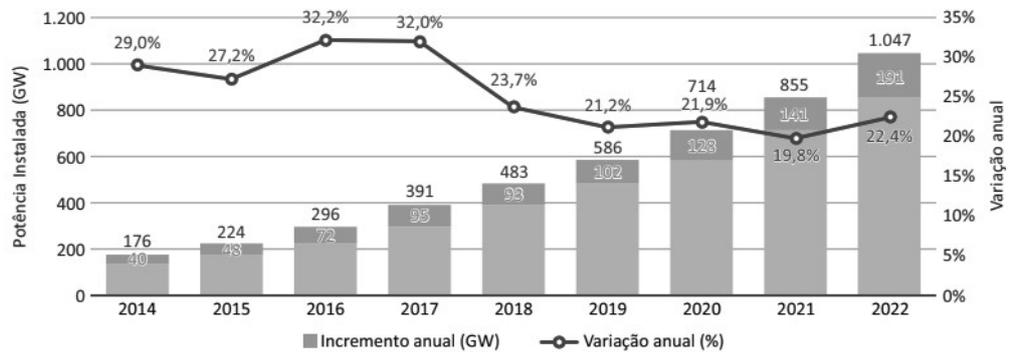


Fonte: *Global Market Outlook for Solar Power 2022-2026* (Chiaretti, 2022)

Em 2022, de acordo com o relatório “*Global Market Outlook for Solar Power 2022-2026*” da *Solar Power Europe*, associação europeia do setor solar, a energia solar correspondeu a um terço da capacidade instalada de energia renovável no mundo, evidenciando uma crescente adoção da energia solar, incentivada pela busca por fontes mais limpas e sustentáveis de energia (Chiaretti, 2022).

Impulsionada por fatores como a queda do custo das tecnologias fotovoltaicas, o aumento da demanda por energia limpa e as políticas governamentais de incentivo, a capacidade instalada global para energia solar vem apresentando acréscimos substanciais, tendo atingido, no ano de 2022, o marco de 1 terawatt (TW), conforme mostra o Gráfico 3.

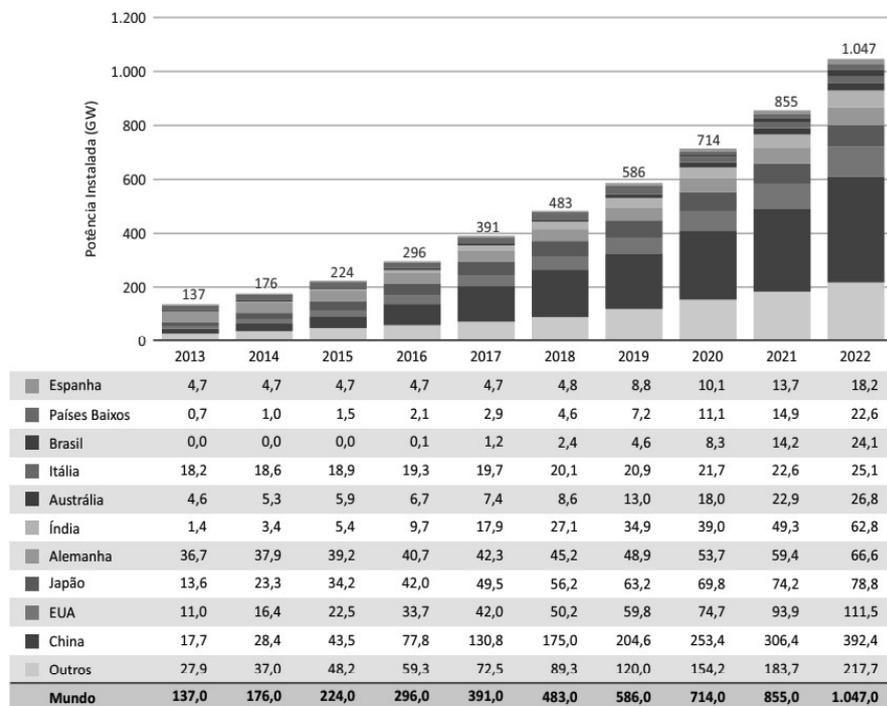
Gráfico 3 - Evolução da Potência Instalada de Geração Solar Fotovoltaica no Mundo



Fonte: IRENA (2023). Elaboração: Bezerra (2023).

Ainda no contexto da capacidade instalada de energia solar, verifica-se, como líder a China, seguida pelos Estados Unidos, Japão e Alemanha. Por outro lado, a América Latina também tem apresentado crescimento significativo, com o Brasil e México despontando como líderes regionais. Uma visão mais detalhada do ranking mundial de potência instalada de energia solar pode ser observada no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Evolução e Ranking Mundial da Potência Instalada de Energia Solar

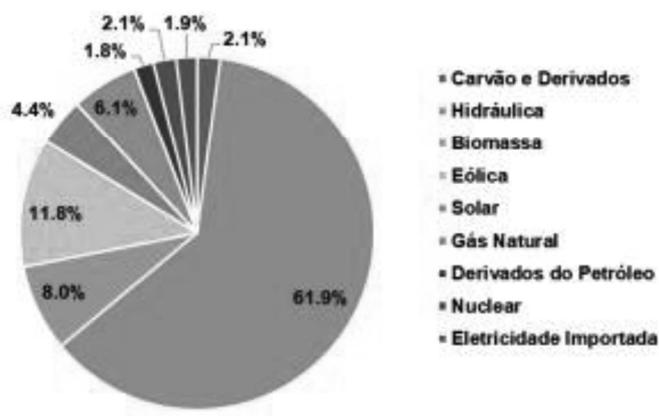


Fonte: IRENA (2023). Elaboração: Bezerra (2023).

3.3 Matriz Energética Brasileira

Ao analisar a atual matriz energética brasileira, isto é, a composição da necessidade energética vista através de cada fonte, pode-se observar forte contribuição de fontes renováveis na produção da energia consumida na indústria e nos lares brasileiros, como pode ser observada no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Matriz Elétrica Brasileira - 2022

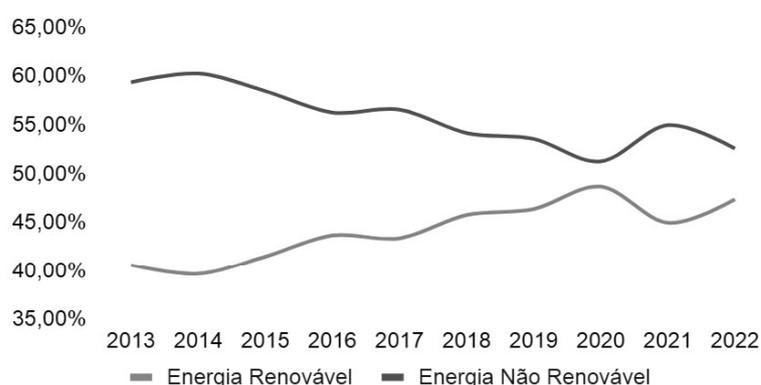


Fonte: Balanço Energético Nacional 2022 (EPE, 2023)

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2022, estudo levantado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), cerca de 86% da energia consumida no Brasil veio de fontes renováveis, das quais destaca-se a forte participação da energia hidrelétrica com cerca de 62% da energia, seguida da energia eólica (11.8%), energia de biomassa (8%) e energia solar (4.4%) (EPE, 2023).

Consoante ao cenário visto anteriormente, destaca-se um aumento da participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira em detrimento das fontes não renováveis conforme a tendência de convergência entre as fontes ao longo do tempo evidenciada no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Evolução da Matriz Energética Brasileira entre Fontes Renováveis e Não Renováveis



Fonte: Elaboração própria (EPE, 2023)

Em relação a energia solar, apesar de sua baixa presença na atual matriz energética, essa modalidade vem apresentando um crescimento desde seus princípios no território brasileiro. O mesmo BEN reportou um crescimento de aproximadamente 80% da geração de energia solar fotovoltaica no ano de 2022 em comparação com o ano de 2021.

3.4 Energia Solar no Brasil

O comércio de geração de energia solar teve início no Brasil no ano de 2012, com a implementação da regulamentação a partir da Resolução Normativa 482 de 2012 e, apesar de alguns consumidores já utilizarem a tecnologia, é considerado o marco inicial do mercado de energia solar no país. Em relação à evolução da energia solar em terras brasileiras, de acordo com Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), a capacidade instalada de tal modalidade aumentou mais de dez vezes entre 2016 e 2018, com cerca de 41 mil novas usinas. Tal acréscimo elevou sua participação na matriz elétrica nacional para 1,4%.

A Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) destaca também que, em 2020, a energia solar já havia gerado mais de 40 mil empregos mesmo durante a pandemia, contribuindo para o desenvolvimento social e econômico do país. Dentre tais empregos, destacam-se importadores de equipamentos fotovoltaicos, engenheiros especializados e técnicos de instalação dos sistemas solares fotovoltaicos.

Verifica-se que a capacidade solar manteve o crescimento mencionado e alcançou, em 2022, uma capacidade instalada acumulada de 20 GW, colocando o Brasil como o quarto país com mais instalações (ABSOLAR). Através desse avanço, destaca-se a capacidade da energia

solar em atender às demandas energéticas do país, sobretudo dado sua facilidade de instalação nas residências, centros comerciais e qualquer outro tipo de propriedade privada, conforme explicitado pelo Gráfico 7.

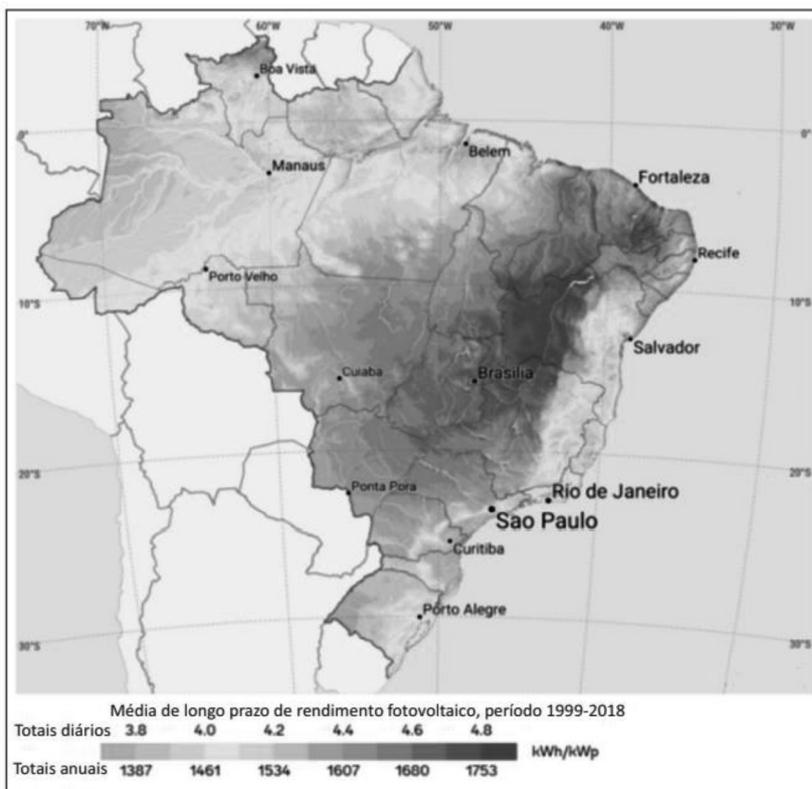
Gráfico 7 – Potência Instalada de Geração Distribuída por Classe de Consumo no Brasil



Fonte: Elaboração própria (ANEEL/ABSOLAR (2023))

Além disso, outro fator importante para seu crescimento, é o clima tropical favorável, que impulsionou o país a se tornar, em 2022, o oitavo maior em capacidade instalada para geração de energia solar (Bezerra, 2023). Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o clima brasileiro e sua localização próxima à linha do Equador possibilita ao país receber uma quantidade significativa de sol ao longo do período diurno, que é um fator relevante no que tange a capacidade de gerar energia (Pereira et al., 2017). O INPE ainda destaca que, ao longo do ano, mais de 3 mil horas de brilho solar recaem sobre o território brasileiro, resultando em uma incidência solar diária que varia de 4.500 a 6.300 Wh/m², sendo os maiores valores de irradiação solar sendo registrados na região central da Bahia e no noroeste de Minas Gerais, onde a irradiação pode chegar a 6,5 kWh/m² por dia, como pode ser observado na Figura 1.

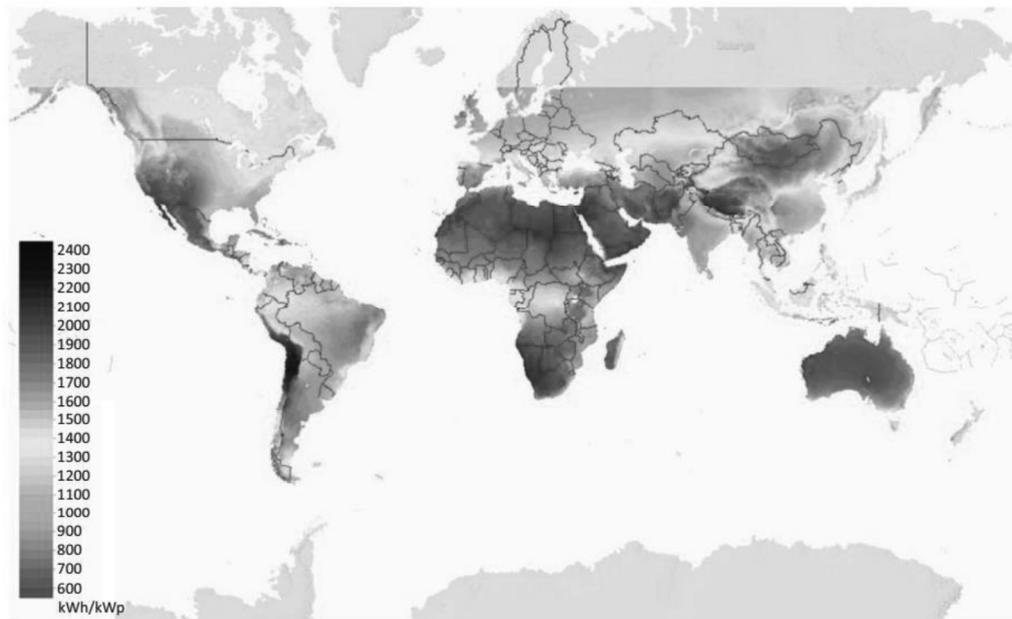
Figura 1 - Irradiação Solar em Território brasileiro



Fonte: Adaptado de World Bank Group (2023)

Outro aspecto relevante que influencia as condições de geração de energia solar é o fato de que, apesar das diferentes incidências solares entre as regiões brasileiras, o país como um todo apresenta um significativo potencial de aproveitamento energético como evidenciado na Figura 1 e 2. Portanto, a alta incidência de radiação solar no Brasil, especialmente nas regiões do nordeste, central da Bahia e noroeste de Minas Gerais, fazem do país um local ideal para a geração de energia solar. Consoante a isso, novas políticas, como a isenção fiscal para semicondutores, que estão sendo implementadas para ampliar o papel da energia solar na matriz energética brasileira, indicam um futuro promissor para a energia solar no Brasil e para consolidação na liderança no cenário mundial de energias renováveis.

Figura 2 - Irradiação Solar no Mundo



Fonte: Adaptado de World Bank Group (2023)

3.5 Geração Distribuída

A expansão da produção e utilização da energia solar no Brasil vem sendo fortemente apoiada em uma modalidade de geração de energia regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); a geração distribuída.

Diferentemente do modelo tradicional, ainda majoritário, de distribuição energética chamado de geração centralizada, no qual a energia produzida em usinas de grande porte é transferida pela rede até o destino final, através da geração distribuída, a energia passa a poder ser produzida por fontes próximas ao destino final.

Esse conceito foi regulamentado pela ANEEL através de sua Resolução Normativa nº 482/2012, que introduz os conceitos de micro- e minigeração distribuída, nas quais fontes geradoras de energia de menor potência do que plantas e usinas de larga escala podem compartilhar a sua produção através da rede a qual estão conectadas (ANEEL, 2012).

A diferença entre microgeração e minigeração consiste na potência instalada em cada planta. Para a microgeração a potência máxima é de 75 KW, observada, por exemplo, em projetos de energia solar residencial de menor escala e com espaços limitados. Já no caso da

minigeração, esse limite está entre o intervalo de 75 kW a 3 MW, sendo evidenciada, por exemplo, em projetos de maior porte como fazendas solares ou parques eólicos.

Junto a essas medidas, a mesma Resolução Normativa nº 482/2012 regulamentou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), mecanismo de monitoramento da injeção da energia gerada na rede elétrica e transferência da mesma para a distribuidora local. Esse sistema, que também é conhecido como *net-metering*, torna possível a contabilização e remuneração da carga energética gerada *in loco* que, por falta de demanda interna, não foi consumida e foi injetada na rede para administração (ou redistribuição) da distribuidora local. No final do período de fiscalização, geralmente ao fim do mês, o proprietário do gerador de energia depara-se com o resultado de seu instrumento na conta de luz, podendo observar nela um valor a pagar abaixo dos patamares prévios à instalação do gerador de energia ou até um ganho de créditos a serem utilizados em uma fatura de uma propriedade registrada em seu CPF ou CNPJ dentro de 60 meses devido ao eventual excedente de energia injetada em relação à consumida.

Ainda no contexto da geração distribuída, há de se explicitar suas três modalidades. São elas:

- **Autoconsumo Local:** a produção e o consumo da energia gerada ocorrem no mesmo local, como, por exemplo, painéis solares instalados no telhado de uma casa para suprir a demanda dos moradores que nela residem.
- **Autoconsumo Remoto:** a produção da energia ocorre em um imóvel diferente daquele na qual o proprietário do sistema gerador realiza o consumo de energia, e ambos são posse do mesmo indivíduo (pessoa física ou jurídica). A energia gerada no local de geração é compensada na conta de luz do(s) outro(s) imóvel(is) do proprietário. Tal modalidade descreve o caso de uma empresa, como exemplo hipotético, que tenha um sistema de geração de energia solar em sua fábrica e abata os créditos na conta de luz de uma segunda instalação como uma loja em outra região.
- **Geração Compartilhada:** modalidade da GD na qual forma-se uma união entre consumidores para compartilhar os custos do sistema de geração e os créditos provenientes da energia gerada. Pode-se mencionar, por exemplo, fazendas solares nas quais uma espécie de consórcio ou cooperativa implemente um sistema de

geração e distribua os créditos pela energia proporcionalmente entre os participantes.

3.6 Captação e Transformação da Energia Solar

Explorando a captação e transformação da energia solar, verifica-se duas formas por meio das quais se pode produzir energia através da irradiação solar, quais sejam: a energia solar fotovoltaica e a energia solar térmica.

A geração de energia fotovoltaica se dá através da incidência de raios solares em placas solares fotovoltaicas, que captam a irradiação solar, isto é, a energia propagada pela luz, e a convertem em forma de corrente elétrica contínua. Essa conversão ocorre dentro de células fotovoltaicas, como são chamadas as células de materiais semicondutores presentes nas placas solares, cuja incidência de fótons solares gera nelas um deslocamento de elétrons, a corrente elétrica. Tal corrente é levada até um inversor, que a converte em corrente alternada e a torna própria para consumo em aparelhos elétricos ou armazenamento em baterias.

A segunda forma, a geração de energia solar térmica, se dá através da incidência dos raios solares em um recipiente contendo um fluido, sendo certo que a energia térmica absorvida pelo fluido no processo já pode, por si só, ser aproveitada. No caso de edificações como hotéis e residências, por exemplo, a energia térmica proveniente dos raios solares é utilizada para suprir a demanda por água aquecida. Além disso, também é possível citar outras aplicabilidades dessa modalidade de energia no setor industrial, com o calor do fluido sendo transferido para outros corpos como etapas de processos de produção, como acontece na indústria de concreto. A geração de energia solar térmica também pode produzir energia elétrica através da utilização do vapor proveniente do aquecimento pela luz solar em uma turbina geradora nos mesmos moldes e funcionamento de uma usina termoelétrica, por exemplo.

3.7 Componentes de um Sistema Solar Fotovoltaico

O processo de geração de energia pelos Sistemas Solares Fotovoltaicos (SSFs) ocorre por meio de uma sequência de equipamentos atuando em sinergia. Abaixo, lista-se tais equipamentos, descrevendo ainda suas funcionalidades e particularidades.

- **Módulos Fotovoltaicos:** são os próprios painéis solares, principais componentes de um Sistema Solar Fotovoltaico. Eles são responsáveis por capturar a luz solar e convertê-la

em energia elétrica. Os módulos fotovoltaicos estão disponíveis em diferentes tamanhos e potências, dependendo das necessidades do usuário, e são geralmente feitos de células de silício colocadas entre duas camadas de material isolante e protegidas por um vidro temperado resistente a raios UV.

- **Inversores:** são responsáveis por converter a corrente contínua (CC) gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada (CA) utilizáveis em residências e empresas, sendo assim um componente essencial de um SSF. Ele permite também o monitoramento da quantidade de energia que o sistema produz e controle da conexão e desconexão entre o sistema e a rede elétrica.
- **Estruturas de Fixação:** responsáveis por manter os módulos fotovoltaicos na posição ótima para a geração de energia, seja ela horizontal ou inclinada, as estruturas de fixação são o esqueleto que garantem que os painéis recebam a máxima quantidade de luz solar possível, podendo ser montadas no chão, no telhado ou em outras superfícies planas. As referidas estruturas são, geralmente, feitas de materiais resistentes à corrosão, como alumínio ou aço inoxidável. Além de serem projetadas para suportar o peso dos módulos fotovoltaicos, são pensadas de forma que resistam a ventos fortes e outras condições adversas.
- **Cabos e Conectores:** são os fios responsáveis por conectar os diferentes componentes do SSF. Eles são projetados para transportar a corrente elétrica gerada pelos módulos fotovoltaicos para o inversor e, em seguida, para a rede elétrica. Os cabos e conectores devem ser adequadamente dimensionados e protegidos contra danos causados por condições climáticas adversas, como chuva, neve e vento.

3.8 Tipos de Sistemas de Energia Solar

A geração de energia é viável devido aos Sistemas Solares Fotovoltaicos (SSF) compostos por dispositivos que, por meio do efeito fotovoltaico, convertem a energia solar em energia elétrica. Os SSFs podem ser classificados em três categorias principais: *On-Grid*, *Off-Grid* e Híbrido. Abaixo, explica-se cada tipo de sistema, suas características e particularidades:

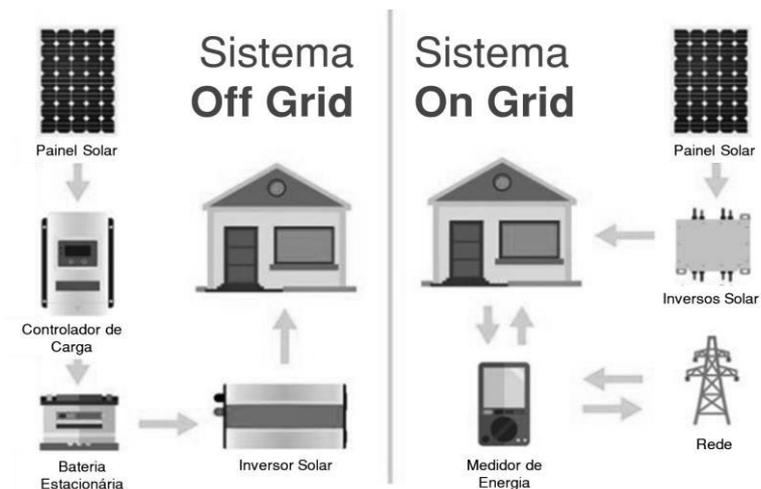
- **SSF *On-Grid*:** também conhecidos como sistemas conectados à rede, são os mais comuns e amplamente utilizados. Esses sistemas estão conectados à rede elétrica, permitindo que, caso não seja consumida internamente por falta de demanda, a energia

gerada em excesso seja injetada na rede. O principal benefício dos SSF *On-Grid* é a possibilidade de reduzir as contas de energia, pois, além de deixar de consumir uma parcela da energia convencional, o usuário é o excesso de energia injetada na rede. Além disso, esses sistemas são simples e de baixo custo, pois não requerem baterias ou equipamentos adicionais para armazenamento de energia.

- **SSF *Off-Grid*:** também conhecidos como sistemas isolados da rede, são independentes da rede elétrica e geralmente utilizados em áreas remotas ou isoladas. Esses sistemas requerem baterias e equipamentos adicionais para armazenamento de energia, o que aumenta o custo e a complexidade do sistema. No entanto, os SSF *Off-Grid* solucionam o fornecimento de energia em áreas onde a rede elétrica não está disponível ou é pouco confiável. Além disso, esses sistemas podem ser utilizados para fornecer energia em situações de emergência ou desastre, quando a rede elétrica pode estar fora de serviço.
- **SSF Híbrido:** combina os benefícios dos SSF *On-Grid* e *Off-Grid*, permitindo que o usuário utilize a energia gerada tanto da rede elétrica quanto da energia solar. Esses sistemas geralmente incluem baterias para armazenamento de energia, o que permite que o usuário utilize a energia solar mesmo quando a rede elétrica não está disponível. Além disso, os SSF Híbridos podem ser utilizados para reduzir as contas de energia, pois o usuário pode injetar a energia armazenada na bateria na rede. No entanto, esses sistemas são mais complexos e de maior custo do que os SSF *On-Grid* ou *Off-Grid*, devido à necessidade de equipamentos adicionais para a geração, armazenamento e distribuição de energia.

Na Figura 3 encontra-se uma ilustração das dinâmicas de funcionamento tanto do Sistemas *Off-Grid* quanto do *On-Grid*.

Figura 3 - Funcionamento de Sistemas *Off-Grid* e *On-Grid*



Fonte: NeoSolar

3.9 Regulamentação da Energia Solar

Além de possuir um fator de irradiação de luz solar vantajoso para o desenvolvimento desse tipo de energia, o Brasil possui também arcabouço fiscal favorável para implementação e crescimento da modalidade. No Rio de Janeiro, por exemplo, há incentivo para utilização de energia solar através da Lei 7.122/15, que isenta o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) em materiais que fazem parte da cadeia de valor da geração de energia solar, como os produtos acabados ou materiais utilizados para produção ou manutenção do sistema de energia solar fotovoltaico. Além disso, também foi estabelecida uma parceria entre a Secretaria Estadual de Desenvolvimento, Econômico, Energia, Indústria e Serviços (SEDEIS), o Instituto Pereira Passos e a GIZ da Alemanha, que desenvolveu o aplicativo on-line Mapa Solar Rio que mede o potencial de geração de energia solar fotovoltaica nos telhados da cidade do Rio de Janeiro.

Em relação aos incentivos fiscais para energia solar no Brasil, eles envolvem isenções de impostos e benefícios tributários para estimular o uso de energias renováveis, incluindo aplicações no Imposto de Renda da Pessoa Jurídica (IRPJ), Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL), contribuições sociais sobre a receita bruta (PIS e COFINS) e Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) desempenha um papel fundamental na regulamentação e promoção da energia solar no Brasil, oferecendo benefícios por meio do

Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). Tais incentivos e regulamentações são fundamentais para impulsionar o setor de energia solar no Brasil, aliviando a carga tributária de empresas sustentáveis e consequentemente promovendo a transição para fontes de energia mais limpas e econômicas.

Para mais, encontram-se, abaixo, marcos importantes no contexto regulamentar brasileiro deste setor:

- **Resolução Normativa N° 482/2012** (revogada pela Resolução Normativa N° 1.059/2023): publicada em abril de 2012, foi um marco histórico para a geração distribuída de energia no Brasil, definindo condições para acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição, além do sistema de compensação de créditos de energia e isenção para encargos setoriais para esses sistemas, reduzindo os custos e tornando a geração distribuída mais atrativa.
- **Lei N° 12.744/2012**: conhecida como Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), reconhece a geração distribuída de energia como um instrumento importante para diversificar a matriz energética e mitigar as mudanças climáticas. A lei estabelece diretrizes para promover essa modalidade, incluindo incentivos fiscais e financeiros.
- **Resolução Normativa ANEEL n° 687/2015** (revogada pela Resolução Normativa N° 1.059/2023): complementar à Resolução Normativa N° 482/2012, estabelece regras para compensação de energia elétrica, tarifas e esclarece as modalidades da geração distribuída de autoconsumo local, autoconsumo remoto e geração compartilhada. Além disso, estabelece tarifas de energia para os sistemas de geração distribuída, incluindo a tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD), a tarifa de energia excedente e a tarifa de disponibilidade, além de isentar encargos setoriais para os sistemas de micro e minigeração distribuída, como a Tarifa de Reserva de Capacidade (TR) e o Encargo de Capacidade de Energia (CCEE), sendo um marco importante para o desenvolvimento da geração distribuída no Brasil.
- **Lei n° 13.169/2015**: sancionada em outubro de 2015, instituiu o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) e estabeleceu diretrizes para aprimorar a geração de energia a partir de fontes renováveis, como a solar fotovoltaica.

- **Lei nº 13.360/2016:** sancionada em dezembro de 2016, isenta de impostos equipamentos de energia solar fotovoltaica. Além disso, a lei concede isenção de PIS, COFINS, IPI e ICMS para a importação e aquisição de painéis solares, inversores e outros componentes de sistemas fotovoltaicos, reduzindo significativamente o custo de instalação dos sistemas e tornando a energia solar mais acessível para um número maior de consumidores.
- **Lei Nº 14.300/2022 (Nova Lei da Geração Distribuída):** essa lei modifica o Código Civil e a Lei de Geração Distribuída, visando aperfeiçoar o mercado e garantir a sustentabilidade do sistema elétrico. Ademais, a partir de 2023, a isenção de encargos setoriais para novos sistemas de geração distribuída será substituída pela Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), cobrada de forma gradual até 2029. Além disso, a norma estabelece novas regras para a compensação de créditos de energia, que consiste num mecanismo importante para incentivar a geração distribuída.

3.10 Tarifas e Encargos do Setor Elétrico no Brasil

A geração e o consumo de energia solar no Brasil estão sujeitos a um sistema tributário complexo, composto por diversos tributos, impostos e encargos que impactam o custo final do sistema. Logo, compreender esse panorama é crucial para avaliar a viabilidade econômica da energia solar e tomar decisões conscientes sobre sua implementação.

O setor elétrico brasileiro é regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que define as tarifas e encargos que incidem sobre a energia elétrica. Estas tarifas são compostas por diversos componentes, que variam de acordo com a região e o tipo de consumidor. Portanto, para uma melhor compreensão acerca do cenário tributário, foram destacados abaixo os principais componentes das tarifas de energia elétrica no Brasil:

- **Custo de Disponibilidade:** tarifa instituída pela Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021 como forma de remunerar as distribuidoras de energia pela capacidade de rede disponível para suprir a demanda dos consumidores.
- **Contribuição de Iluminação Pública (CIP):** a CIP é de competência municipal para custear a iluminação das estruturas e instalações públicas, como ruas, estradas e estabelecimentos públicos.

- **Tarifa de Energia (TE):** corresponde ao valor cobrado como forma de repassar ao consumidor os custos pela energia que ele consome, como o custo pela geração e transporte da mesma.
- **Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD):** corresponde ao valor cobrado pela utilização da rede de distribuição de energia e sua infraestrutura. Dentre seus componentes, destaca-se o Fio B, que representa cerca de 30% do custo total de energia e caracteriza o montante a compensar o gasto das distribuidoras com o sistema de distribuição e transmissão, ou seja, os custos de manutenção e renovação, dentre outros, da malha de fios que compõem o sistema elétrico.

Sobre a TUSD e a TE, tarifas supracitadas cobradas sobre o consumo de energia, incidem os encargos tributários citados abaixo:

- **Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS):** imposto cobrado sobre operações que envolvam comercialização de mercadorias ou execução de um serviço, o ICMS varia de acordo com a regulação de cada Estado, sendo pago ao próprio Governo Estadual do respectivo Estado. Incide por fora sobre sua base de cálculo, sendo assim incluído no valor da mercadoria ou serviço.
- **Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS):** tributos federais cobrados pela União com a finalidade de manter programas destinados aos trabalhadores e de atender programas sociais do Governo Federal (LIGHT, 2021).

Diante do contexto tributário brasileiro, é notório que a carga tributária sobre a energia solar no Brasil é complexa e pode ser significativa, variando de acordo com o estado, município, tipo de consumidor e características do sistema.

A análise detalhada dos tributos, impostos e encargos, em conjunto com a legislação específica, permite avaliar a viabilidade econômica da energia solar e seus benefícios para cada caso. Portanto, é importante entender os detalhes da tributação do setor elétrico brasileiro, a qual possui tarifas e encargos, que são revisadas periodicamente pela ANEEL, por meio de processos de Revisão Tarifária e Reajuste Tarifário. Esses processos levam em consideração diversos fatores, como custos de geração, transmissão e distribuição de energia, inflação,

variação do dólar, entre outros, possuindo relevância para a análise de viabilidade de projetos de energia solar devido ao seu impacto financeiro.

4. ESTUDO DE CASO

Para ilustrar o assunto abordado no presente trabalho, será realizado como estudo de caso uma análise detalhada de um projeto de energia solar implementado em uma concessionária de automóveis localizada na Barra da Tijuca, na zona oeste do município do Rio de Janeiro. Os dados e informações apresentados a seguir foram coletados junto ao representante da concessionária que foi o responsável pelo projeto e com uma empresa consultora de projetos especializada em energia solar.

A instalação do projeto foi concluída no mês de setembro de 2021 e, portanto, encontra-se isenta da Tarifa pelo Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) do Fio B até o ano de 2045.

4.1 Consumo de Energia no Local

Para sua operacionalização e atendimento ao cliente, a concessionária de automóveis em questão conta com uma extensa lista de itens que consomem energia, tais como ar-condicionados e luzes ligadas por um longo período do dia, equipamentos e maquinários para a prestação de assistência técnica aos veículos dos clientes e ferramentas administrativas como computadores, telefones e televisões.

Para estimar o valor médio do consumo de energia mensal da concessionária, obteve-se um histórico completo dos valores consumidos mensalmente no período entre setembro de 2018 e agosto de 2021. Para fins de maior acuracidade, considerando apenas os 12 meses prévios à pandemia do COVID-19, observa-se os consumos mensais e média diária na Tabela 1.

Tabela 1 - Consumo de Energia na Concessionária

Ano	Mês	Energia Consumida (kWh)	Qtd. de Dias	Média de Consumo Diário (kWh/dia)
2019	Abril	35.427	29	1.222
	Maio	37.691	30	1.250
	Junho	29.068	29	1.002
	Julho	23.236	30	775
	Agosto	18.813	30	627
	Setembro	21.238	29	732
	Outubro	22.252	30	742
	Novembro	31.273	29	1.078
	Dezembro	27.484	30	916
2020	Janeiro	36.214	30	1.207
	Fevereiro	37.288	28	1.332
	Março	37.469	30	1.249
		Média de Consumo Diário	1.009,75	kWh/dia

Fonte: Autoria Própria

4.2 Características do Local de Implementação

O terreno no qual a concessionária de automóveis em questão se encontra conta com um fator extremamente benéfico para a geração de energia solar; tirando suas próprias construções, em seu arredor não há obstruções que poderiam causar sombreamentos no terreno. Dessa forma, dada a total incidência solar no terreno e dado o limitado espaço externo disponível no nível do solo, optou-se por instalar os módulos fotovoltaicos no terraço da construção exposto na Figura 4.

Figura 4 - Vista Superior do Terraço da Concessionária



Fonte: Google Maps

Descontando-se a área que fica coberta pelas sombras da caixa do elevador e da escadaria de emergências, o terraço oferece uma área disponível de aproximadamente 600 metros quadrados para a instalação do sistema de energia solar.

4.3 Dimensionamento do Projeto

O dimensionamento de projetos de energia solar é a etapa na qual se busca a quantidade de módulos fotovoltaicos a serem instalados de forma que a potência do sistema seja adequada para a geração de energia compatível com o consumo de energia. Tal etapa leva em consideração fatores como o consumo médio mensal dos últimos 12 meses, a irradiação solar que incide no local e a potência do módulo fotovoltaico selecionado. Correlacionando esses dados, é possível determinar a quantidade de módulos fotovoltaicos a serem instalados, bem como a potência que o(s) inversor(es) deve(m) sustentar.

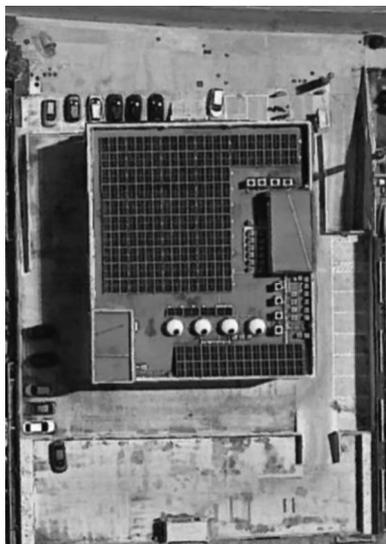
No caso em análise, o dimensionamento do projeto teve como fator determinante não a demanda de energia em si, mas sim o espaço disponível para implementação, dado que a exposição à irradiação solar é preponderante no terraço e este proporciona uma área limitada com as condições propícias para a geração. Tomando como referência o modelo de módulo fotovoltaico selecionado para o projeto que será apresentado adiante, cujas medidas de 2,22m de comprimento por 1,1m de largura resultam em uma área de 2,45 metros quadrados por módulo, os 600 metros quadrados disponíveis podem suportar 240 módulos fotovoltaicos.

Dessa forma, cerca de 587 metros quadrados de área seria ocupada pelos próprios módulos fotovoltaicos, deixando 13 metros quadrados para corredores e espaços livres para circulação.

A definição do inversor é em função da potência instalada dos módulos fotovoltaicos. Operando a 100% de eficiência com uma potência unitária de 500W por módulo, os 240 módulos teriam uma potência instalada equivalente a 120 kW. No entanto, fora das condições de teste de temperatura na casa dos 25 °C e ventos a uma velocidade de 1 m/s, o módulo tende a perder eficiência. Segundo dados do fabricante do módulo selecionado, fora dessas condições ele opera com uma potência de aproximadamente 379 W. Dessa forma, 240 módulos operariam com uma potência de aproximadamente 91 kW. Dado esse valor, seguindo o conceito de *Overload*, comum prática do mercado que consiste em adotar o uso do inversor com capacidade ligeiramente menor do que a potência instalada dos módulos fotovoltaicos, definiu-se pela utilização de dois inversores, um de 75 kW de potência e outro de 15 kW de potência.

Com isso, finaliza-se a etapa de dimensionamento do projeto com a decisão de utilizar 240 módulos fotovoltaicos, cuja distribuição pelo espaço é mostrada na Figura 5, e 2 inversores totalizando 90 kW de potência, definindo o projeto como um sistema de Minigeração de Energia.

Figura 5 - Vista Superior do Terraço com os Módulos Fotovoltaicos



Fonte: Google Maps

Vale ressaltar que, dada a limitação de espaço e o consumo médio mensal entre 30.000 e 32.000 kWh, considera-se remota a possibilidade de a geração de energia pelo sistema atender integralmente ou até excessivamente o consumo mensal de energia.

4.4 Equipamentos e Investimento Inicial

O projeto obteve auxílio de uma empresa especializada em projetos de energia solar que foi responsável por conceber o projeto desde sua estruturação e licenciamento junto à Light até a seleção, aquisição e instalação dos equipamentos. Na Tabela 2 encontra-se a lista dos equipamentos selecionados para o projeto e seus respectivos custos de aquisição.

Tabela 2 - Equipamentos e Valores

Equipamento	Quantidade	Valor
Módulos Fotovoltaicos	240	R\$ 199.200,00
Inversor 75 kW	1	R\$ 43.200,00
Inversor 15 kW	1	R\$ 11.300,00
Transformador Trifásico	1	R\$ 12.500,00
Cabos	1200m	R\$ 11.160,00
Estruturas de Fixação	120	R\$ 42.000,00
Conectores e Miscelâneos	-	R\$ 15.639,96
	Valor Total	R\$ 334.999,96

Fonte: Autoria Própria

Abaixo, algumas ressalvas quanto aos módulos fotovoltaicos e inversores, equipamentos críticos para um projeto de energia solar:

- Módulos Fotovoltaicos RSM-150-8-500M da marca chinesa *Risen Energy*, composto de material monocristalino e com dimensões de 2,22m de comprimento por 1,1m de largura. De acordo com a fabricante, sua eficiência é de 80.6% e potência sob condições normais é de 500W. Em locais com temperaturas acima de 25° C e ventos acima de 1 m/s, sua potência máxima é de 379,3 W, número que foi adotado como potência para cada módulo. Outra informação relevante é a perda de eficiência, que, de acordo com o fabricante, é de 2% no primeiro ano e de 0.55% ao ano para os demais anos. Além disso, a *Risen Energy* oferece uma garantia de desempenho de 25 anos, representando assim a vida útil dos módulos.
- Inversores SOFAR 75KTL, de 75 kW de potência, e SOFAR 15000TL, de 15 kW de potência, ambos trifásicos e produzidos pela também marca chinesa SOFAR. A

fabricante oferece 10 anos de garantia para ambos os modelos, representando assim a vida útil dos inversores.

Além dos custos de aquisição dos equipamentos, há também os custos pelos serviços de planejamento e instalação dos equipamentos para a empresa especializada em energia solar, que é de R\$ 155.000,00. Somando-se esse montante ao valor dos equipamentos, chega-se ao investimento inicial total do projeto de R\$ 490.000,00.

4.5 Premissas e Mecanismos da Análise

4.5.1 Geração, Consumo e Injeção de Energia

A fim de mensurar a geração de energia do projeto implementado, é necessário conhecer a quantidade de irradiação solar incidente sobre o local em análise. Para isso, utilizou-se o SunData, programa disponível no site do CRESESB. Nele, inseriu-se as coordenadas topográficas da concessionária e obteve-se as irradiações solares diárias médias em kWh/metro quadrado/dia incidentes a uma distância de aproximadamente 4 quilômetros da concessionária de automóveis. Conforme apresentado na Figura 6, extraída do SunData, as maiores irradiações sobre a concessionária incidem nos meses de janeiro e fevereiro. Além disso, observa-se também uma irradiação solar diária média maior no plano com 20 graus de inclinação do que no plano horizontal, justificando, portanto, a instalação dos módulos com leve inclinação, conforme apresentado nas Figuras 7 e 8.

Figura 6 - Irradiação Solar sobre a Concessionária

Cálculo no Plano Inclinado																
Estação: Rio de Janeiro Município: Rio de Janeiro , RJ - BRASIL Latitude: 23° S Longitude: 43,349° O Distância do ponto de ref. (23,000833° S; 43,3875° O): 3,9 km																
#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	6,07	6,24	5,08	4,38	3,57	3,31	3,31	4,14	4,36	5,02	5,16	5,90	4,71	2,93
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	23° N	5,47	5,94	5,23	4,96	4,40	4,28	4,16	4,87	4,63	4,91	4,75	5,25	4,90	1,78
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	20° N	5,58	6,02	5,24	4,92	4,32	4,18	4,08	4,81	4,62	4,95	4,83	5,36	4,91	1,94
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	34° N	4,99	5,57	5,08	5,03	4,60	4,56	4,40	5,02	4,57	4,66	4,38	4,76	4,80	1,19

Fonte: CRESESB

Figura 7 - Disposição dos Módulos Fotovoltaicos no Terraço



Fonte: Autores

Figura 8 -Vista Ampla do Terraço com os Módulos Fotovoltaicos



Fonte: Autores

No Gráfico 8 observa-se a energia gerada para cada mês de funcionamento do sistema solar, calculada através Fórmula 4:

Fórmula 4 - Cálculo da Quantidade de Energia Gerada

$$EP = (P \times Ir \times D) * (Ef)$$

Fonte: Ribeiro (2020)

Onde:

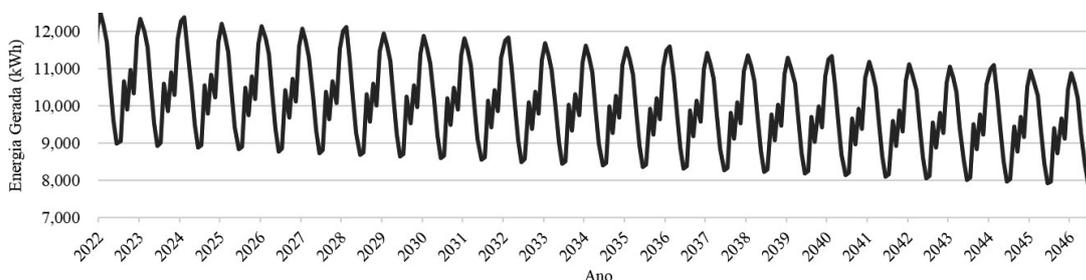
EP é a energia produzida;

P equivale à potência instalada do sistema;

Ir é a irradiação solar diária média mensal para o mês em questão; e

Ef é a eficiência dos Módulos Fotovoltaicos no mês em questão.

Gráfico 8 - Geração de Energia pelo Sistema Fotovoltaico



Fonte: Autoria Própria

No Gráfico 8, observa-se também a influência da sazonalidade da irradiação solar incidente sobre a concessionária, com picos de geração de energia nos meses do verão devido não só à maior incidência de raios solares, mas também ao maior tempo de iluminação dos dias de verão quando comparados com os dias de outras estações de tempo.

Além da sazonalidade, outro fator de influência evidenciado pelo Gráfico 8 é o decréscimo da geração de energia elétrica pelo sistema fotovoltaico devido à sua perda de eficiência com o decorrer de sua vida útil.

Para a análise de viabilidade do projeto, também se mostrou necessário estimar a fração da energia gerada que, caso não houvesse demanda do sistema elétrico da concessionária, seria reinjetada na rede elétrica e compensada na conta de energia. Para isso, dado que a concessionária não opera aos domingos e que nesse dia o consumo de energia é apenas para a iluminação da fachada à noite, horário em que não se produz mais energia solar, partiu-se da presunção que 100% da energia gerada pelo sistema fotovoltaico neste dia da semana é injetada na rede elétrica. Dessa forma, estabelecendo-se a porcentagem que representa a quantidade de domingos dentro de certo mês e aplicando-se sobre a energia gerada nesse mesmo mês, obtém-se em kWh a quantidade de energia que foi injetada na rede nesse mesmo mês.

4.5.2 Custo de Energia

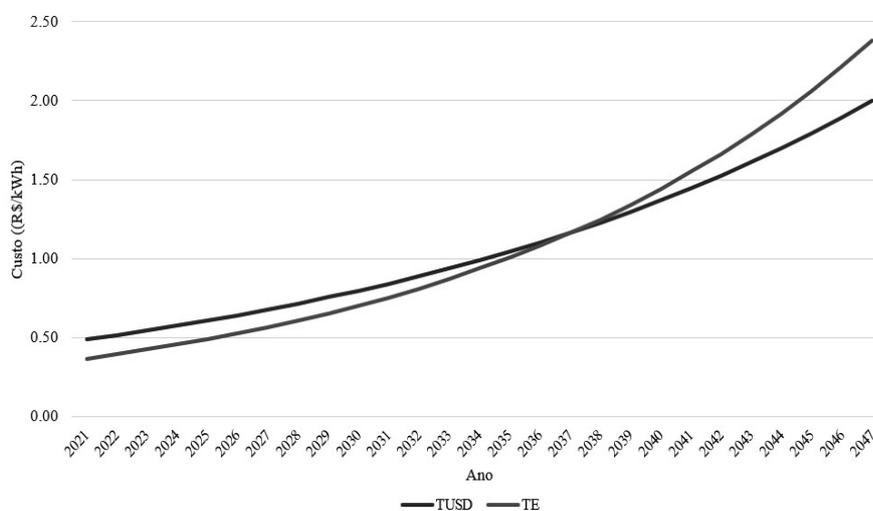
Devido à dinamicidade dos preços da energia elétrica, resultante das correções anuais estabelecidas pela ANEEL em conjunto com cada distribuidora de energia, é fundamental

considerar essa variabilidade ao calcular o desconto na conta de luz proporcionado pela energia gerada pelo sistema solar. Com isso em mente, buscou-se estabelecer um índice de correção anual para o custo da energia cobrado pelas distribuidoras sobre o consumo mensal dos clientes.

Para isso, obteve-se do portal de relatórios da ANEEL a base de dados das tarifas pelas distribuidoras e filtrou-se os dados para corresponder ao caso da concessionária de automóveis. Dessa forma, analisando os ajustes tarifários da distribuidora carioca Light para o grupo tarifário B3 na tarifa convencional entre os anos de 2010 e 2021, obteve-se como índice de correção um incremento de 5,55% ao ano para a TUSD e de 7,44% para a TE.

Tomando como ponto de partida as tarifas de R\$ 0,34734/kWh referente à TUSD e R\$ 0,26078/kWh referente à TE, homologadas via Resolução Homologatória nr. 2.667 publicada em 10 de março de 2020 e vigente até 10 de março de 2021, e aplicando-se sobre essas tarifas ainda a carga tributária composta de 22% de ICMS, 1,65% de PIS e 7.60% de COFINS, obtém-se a curva de preço de energia apresentada pelo Gráfico 9.

Gráfico 9 – Projeção da Curva do Custo de Energia



Fonte: Autoria Própria

4.5.3 Custos de Manutenção dos Equipamentos

Para garantir a durabilidade e bom funcionamento do sistema fotovoltaico, são necessários cuidados como a limpeza periódica dos módulos fotovoltaicos e manutenções tanto preditivas como preventivas do sistema. Nesse sentido, considerando que, de acordo com a EPE (2012), os custos anuais com manutenção e operacionalização dos equipamentos fotovoltaicos

não costumam exceder 1% do investimento inicial do projeto, provisiona-se no fluxo de caixa uma despesa mensal de R\$ 408,33 para representação desses custos. Com isso, corridos os 12 meses de um ano qualquer, supõe-se que tenham sido gastos R\$ 4.900,00 com os custos de manutenção do sistema fotovoltaico, equivalente a exatamente 1% dos R\$ 490.000,00 investidos na implementação do projeto.

4.5.4 Custo de Capital

O projeto foi viabilizado integralmente via capital próprio da empresa, sem recorrer a quaisquer dívidas como ferramentas de financiamento para a realização do mesmo. Por esse motivo, o custo de capital levado em consideração na análise será composto apenas pelo custo de capital próprio.

Para fins de estabelecimento do Valor Presente do caso estudado, optou-se por considerar como taxa de desconto o Tesouro Direto IPCA + 2045, título soberano brasileiro cuja rentabilidade anual é IPCA + 6,12% e cujo período de duração é próximo à vida útil de 25 anos dos módulos fotovoltaicos, horizonte de tempo que esta análise levará em consideração.

Figura 9 - Quadro de Informações do Tesouro IPCA + 2045

Tesouro IPCA + 2045	
Preço unitário	R\$ 1.234,50
Rentabilidade	IPCA + 6,12%
Data de vencimento	15/05/2045

Fonte: Tesouro Direto, 2024

Cabe ressaltar que, dado que esse tipo de investimento não é ofertado para pessoas jurídicas, como no caso da concessionária de automóveis, sua taxa de rentabilidade serve como *proxy* de rentabilidade anual de retornos esperados pelo proprietário da concessionária de automóveis caso aplicasse o montante investido em modalidades de investimento de baixo risco.

Para chegar no custo de capital, tomou-se como referência o IPCA realizado dos anos de 2021 a 2023, extraídos da base produzida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e as projeções do IPCA para 2024, 2025 e 2026 em diante, do Relatório FOCUS

divulgado no dia 13 de maio de 2024 pelo Banco Central Brasileiro. Em seguida, cruzando-se os índices IPCA de cada ano do prazo do título IPCA + 2045 com seu *spread* de 6,12%, chega-se ao custo de capital apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Custo de Capital

Custo de Capital (% a.a.)	8.93%
Custo de Capital (% a.m.)	0.72%

Fonte: Autoria Própria

4.6 Análise de Viabilidade

4.6.1 Fluxo de Caixa Projetado

Para registrar as entradas e saídas de capital do projeto de energia solar na concessionária de automóveis e calcular o resultado líquido de cada período, foi elaborado um fluxo de caixa mensal a partir de agosto de 2021, data do investimento inicial e da instalação do sistema fotovoltaico. Esse fluxo de caixa será utilizado para determinar os indicadores financeiros que avaliam a viabilidade do projeto ao longo dos seus 25 anos de vida útil.

Utilizando-se as condições, premissas e mecanismos apresentados até aqui neste *caput*, chegou-se no Fluxo de Caixa apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Fluxo de Caixa Projetado para o Projeto

Data	Aug-21	Sep-21	Oct-21	Nov-21	Dec-21	Jan-22	Jun-46	Jul-46	Aug-46	
Economia na Conta de Energia		R\$ 8,125.87	R\$ 9,503.08	R\$ 8,972.11	R\$ 10,256.24	R\$ 11,338.41	R\$ 30,946.53	R\$ 31,515.44	R\$ 36,817.41	
Energia Consumida in loco		R\$ 7,092.38	R\$ 8,038.83	R\$ 7,830.99	R\$ 8,675.94	R\$ 9,590.74	R\$ 26,947.92	R\$ 28,394.51	R\$ 32,220.35	
Energia Injetada		R\$ 1,091.14	R\$ 1,545.93	R\$ 1,204.77	R\$ 1,668.45	R\$ 1,844.37	R\$ 5,389.58	R\$ 4,206.59	R\$ 6,196.22	
Deduções		-R\$ 57.65	-R\$ 81.68	-R\$ 63.65	-R\$ 88.15	-R\$ 96.70	...	-R\$ 1,390.98	-R\$ 1,085.66	-R\$ 1,599.16
Custos Operacionais		-R\$ 1,526.50	-R\$ 1,526.50	-R\$ 1,526.50						
D&A		-R\$ 1,118.17	-R\$ 1,118.17	-R\$ 1,118.17						
Custos de Manutenção		-R\$ 408.33	-R\$ 408.33	-R\$ 408.33						
IRPJ		-R\$ 989.90	-R\$ 1,196.49	-R\$ 1,116.84	-R\$ 1,309.46	-R\$ 1,471.79	-R\$ 4,413.00	-R\$ 4,498.34	-R\$ 5,293.64	
Despesas de Capital	-R\$ 490,000.00	R\$ -	R\$ -	R\$ 27,250.00						
Fluxo de Caixa	-R\$ 490,000.00	R\$ 6,727.63	R\$ 7,898.26	R\$ 7,446.94	R\$ 8,538.45	R\$ 9,458.29	R\$ 26,125.19	R\$ 26,608.76	R\$ 58,365.44	

Fonte: Autoria Própria

Repassando-o do topo até a base vemos primeiramente o valor economizado da conta de energia do mês em questão. Tal valor é encontrado somando-se o valor referente à energia consumida *in loco* ao valor referente à energia injetada na rede e descontando-se do resultado

as deduções referentes ao ICMS incidente sobre a quantidade de energia injetada na rede e, a partir de 2045, a TUSD Fio B.

Em seguida, observamos os Custos Operacionais, que são a soma entre os valores da depreciação linear dos equipamentos em função de suas vidas úteis e os custos de manutenção, provisionados a 1% ao ano do valor do investimento inicial. Ainda sobre a depreciação, vale ressaltar que, como é uma despesa sem impactos no caixa dado que não há desembolso de caixa, seu valor é retornado ao fluxo de caixa final projetado.

Abaixo dos Custos Operacionais, tem-se o valor do Imposto de Renda de Pessoa Jurídica. Apesar de todo fluxo de caixa girar em torno não de uma receita, mas sim um desconto em cima de uma despesa, provisiona-se a alíquota de 15% referente ao IRPJ. Isso porque esse desconto na conta de luz representa um valor que viria a ser deduzido do resultado da empresa, sobre o qual incide o IRPJ. Ainda sobre esse encargo, é importante ressaltar que, por ser uma despesa dedutível, a depreciação está inclusa em sua base de cálculo.

Por último, tem-se as Despesas de Capital, que representam o valor do investimento nos bens que compõem o sistema fotovoltaico instalado na concessionária. Ressalta-se que em agosto de 2046, ao fim dos 25 anos de vida útil do projeto, a última dupla de inversores adquirida no ano de 2041 depreciou pela metade. Para maior acuracidade do fluxo de caixa, portanto, retornou-se o valor atualizado dos mesmos para o resultado do último mês projetado.

4.6.2 Indicadores Financeiros

Analisado o fluxo de caixa projetado, o qual detalha as receitas, as despesas e os investimentos do projeto, passa-se para a etapa de cálculo dos indicadores financeiros que oferecem um parecer sobre a viabilidade econômica da implementação do sistema de geração de energia fotovoltaica na concessionária de automóveis.

Maleando-se a última linha do fluxo de caixa projetado apresentado na Tabela 4, pode-se estabelecer os indicadores de VPL e TIR, calculados através das Fórmulas 2 e 3, respectivamente, e apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - VPL e TIR do Projeto

Ano	VPL	TIR (% a.a.)
1	R\$ (399.254,30)	-92,48%
3	R\$ (225.367,26)	-25,02%
4	R\$ (142.155,42)	-7,45%
5	R\$ (61.234,76)	3,33%
10	R\$ 288.229,07	21,53%
15	R\$ 612.681,78	25,59%
20	R\$ 885.252,23	26,75%
25	R\$ 1.132.251,41	27,16%

Fonte: Autoria Própria

Por meio da análise da Tabela 5, pode-se verificar, na coluna que apresenta o VPL, que o *payback* descontado, ou seja, aquele no qual leva-se em consideração a taxa de desconto do custo de capital no tempo, ocorre no intervalo entre o 5º e 10º ano. Utilizando a Fórmula 1, conclui-se que a soma dos fluxos de caixa líquidos e descontados pelo custo de capital iguale-se ao capital investido no decorrer do 69º mês.

4.7 Discussão dos Resultados

Analisando-se os resultados apresentados, observa-se a viabilidade financeira do projeto através dos indicadores positivos derivados do fluxo de caixa projetado.

O VPL positivo de aproximadamente 1,1 milhão de reais indica que, apesar de considerar o valor do capital no tempo, o sistema de energia fotovoltaica retorna à concessionária o valor do investimento inicial e ainda gera valor excedente.

A TIR anualizada de 27,16% aponta para a mesma geração de valor que o VPL positivo. Mais além, comparando-a com o custo de capital anualizado de 8,93%, pode-se concluir que o investimento no sistema fotovoltaico proporciona um resultado melhor do que o resultado financeiro de um investimento com taxa de rentabilidade equivalente à do custo de capital de 8,93% ao ano.

Por fim, analisando o *payback* descontado, de aproximadamente 6 anos, pode-se concluir que este é o prazo que demora para a economia pela geração *in loco* de energia elétrica por meio do sistema fotovoltaico recuperar o valor investido no mesmo. Após o referido período, espera-se que os 19 anos restantes de vida útil do sistema tragam a geração de valor evidenciada pelo VPL e pela TIR.

5. CONCLUSÃO

Diante de todo o exposto, verifica-se que o presente estudo sobre a energia solar no Brasil evidencia o enorme potencial do país para o aproveitamento dessa fonte de energia limpa e renovável. Ademais, como visto, com uma média de irradiação solar anual de aproximadamente 4,3 a 6,3 kWh/m²/dia, o Brasil possui condições extremamente favoráveis para a geração de energia solar fotovoltaica. Além disso, a crescente demanda por fontes de energia sustentáveis e futuros avanços tecnológicos aplicados na geração energia renovável tornam o cenário brasileiro ainda mais promissor.

O estudo de caso apresentado demonstrou a viabilidade e a rentabilidade do projeto de implementação de energia solar na concessionária de automóveis. Observa-se que, através da análise detalhada dos fluxos de caixa projetados, foi possível observar que, devido às economias geradas na conta de energia, o investimento inicial é recuperado em um período relativamente curto de cerca de 25% da vida útil do projeto, deixando então os 75% restantes para a geração de valor à concessionária. O estudo também analisou que a Taxa Interna de Retorno (TIR) do projeto se mostrou superior ao custo de capital, indicando uma atratividade financeira robusta.

Quanto aos resultados, estes comprovam que, além dos benefícios ambientais, como a redução das emissões de gases de efeito estufa e a diminuição da dependência de fontes de energia não-renováveis, projetos de energia solar no Brasil podem ser lucrativos. Este cenário, aliado ao avanço tecnológico e à diminuição dos custos dos equipamentos fotovoltaicos, torna a energia solar uma alternativa cada vez mais competitiva e acessível.

Para mais, durante o desenvolvimento deste trabalho, mais especificamente na elaboração do estudo de caso, foram identificadas algumas lacunas que merecem a atenção de futuros trabalhos similares, principalmente quanto às premissas adotadas no modelo. Primeiramente, dada a parcela da TUSD referente ao Fio B incidente sobre a energia injetada na rede, sugere-se uma melhor apuração quanto à divisão da energia gerada pelo sistema fotovoltaico entre o montante consumido *in loco* e o montante injetado na rede elétrica. Além disso, considerando a forte influência nos indicadores de viabilidade, identifica-se uma lacuna na metodologia utilizada para determinar o custo da energia, que foi feita traçando uma média dos últimos ajustes tarifários. Embora essa abordagem forneça uma estimativa prática, ela pode não refletir com precisão as variações futuras nos preços da energia, que podem ser

influenciadas por uma série de fatores, incluindo políticas governamentais, flutuações econômicas e mudanças no mercado de energia.

Como oportunidades de aprofundamento e expansão de pesquisa para novos trabalhos referentes à viabilidade financeira de projetos de energia solar, sugere-se um maior aprofundamento nos impactos da adesão da energia no custo de energia no Brasil, assim como uma maior exposição das consequências que os fenômenos de Aquecimento Global e Efeito Estufa podem apresentar à indústria e aos usuários da energia solar.

Em suma, a energia solar se apresenta como uma solução estratégica para o Brasil, contribuindo não apenas para a sustentabilidade ambiental, mas também para o desenvolvimento econômico do país. Dada sua viabilidade e rentabilidade para o usuário; os incentivos governamentais, a conscientização da população e os investimentos em infraestrutura são fundamentais para alavancar ainda mais essa fonte de energia. Portanto, incentivar e ampliar o uso da energia solar deve ser uma prioridade nas políticas energéticas nacionais, a fim de que seja garantido um futuro mais sustentável e economicamente vantajoso para todos.

6. BIBLIOGRAFIA

ABSOLAR. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**: Infográfico ABSOLAR. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 24 mar. 2024.

ABSOLAR. **Energia solar gera 40 mil empregos no ano e busca por cursos dispara**. 2020. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-gera-40-mil-empregos-no-ano-e-busca-por-cursos-dispara/>. Acesso em: 4 abr. 2024.

ABSOLAR. **Energia solar: a energia do futuro**. 2020. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-a-energia-do-futuro/>. Acesso em: 15 abr. 2024.

ALTERNATIVE ENERGY. **Dados do crescimento do setor de energia solar no Brasil e no Mundo**. 2022. Disponível em: <https://www.ae.eng.br/dados-crescimento-setor-energia-solar-no-brasil-e-mundo/>. Acesso em: 22 abr. 2024.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012**. A: A, 2012. Disponível em: <https://www.cocel.com.br/wp-content/uploads/2014/12/Resolu%C3%A7%C3%A3o-Aneel-482-de-17-de-abril-de-2012.pdf>. Acesso em: 26 set. 2023.

AYRÃO, Vinicius. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**. Rio de Janeiro, out. 2018.102f. Disponível em: <https://www.leonardo-energy.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Estudos-Fotovoltaicos-Vinicius-Ayrao.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2024.

BALARINE, Oscar Fernando Osorio. **Desvendando o cálculo da TIR**. Revista de Administração, São Paulo, v. 38, n. 1, p. 15-24, mar. 2003. Disponível em: <http://rausp.usp.br/wp-content/uploads/files/V3801015.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2024.

Banco Central do Brasil. **FOCUS: Relatório de Mercado**. 2024. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/publicacoes/focus/17052024>. Acesso em: 20 mai. 2024.

BERK, Jonathan; DEMARZO, Peter. **Finanças empresariais essencial**. Tradução Christiane de Brito Andrei. Porto Alegre: Boojman, 2010.

BEZERRA, Francisco Diniz. **Energia Solar**. Caderno Setorial ETENE, Fortaleza, n. 295, 14 p. jul. 2023. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1849/1/2023_CDS_295.pdf. Acesso em: 03 maio 2024.

CABRAL, Bruno Baima Costa. **A Tarifa de Energia Elétrica e os Encargos Setoriais Incidentes para financiar o Desenvolvimento do Setor bem como as Políticas Energéticas do Governo Federal**. 2012. 52 f. Monografia (Especialização) - Curso de Direito da Regulação, Instituto Brasiliense de Direito Público, Brasília, 2012. Disponível em: https://repositorio.idp.edu.br/bitstream/123456789/411/1/Monografia_Bruno%20Baima%20Costa%20Cabral.pdf. Acesso em: 12 abr. 2024.

CARMONA, Bruna de Souza; KASSAI, José Roberto. **A matriz energética brasileira: uma análise perante a NDC e o ODS7**. USP INTERNATIONAL CONFERENCE IN ACCOUNTING, 19., 2019, São Paulo. Disponível em: <https://congressosp.fipecafi.org/anais/19UspInternational/ArtigosDownload/1751.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2024.

CASARIN, Ricardo. **Renováveis devem crescer mais nos próximos 5 anos do que em toda a história**. 2024. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/mercado/internacional/renovaveis-devem-crescer-mais-nos-proximos-5-anos-do-que-em-toda-a-historia>. Acesso em: 10 maio 2024.

CHIARETTI, Daniela. **Energia solar alcança marca histórica no mundo**. 2022. Disponível em: <https://valor.globo.com/mundo/noticia/2022/05/22/energia-solar-alcanca-marca-historica-no-mundo.ghtml>. Acesso em: 24 abr. 2024.

CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. Disponível em: <https://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>. Acesso em: 14 abr. 2024.

DAMODARAN, Aswath. **A Face Oculta da Avaliação – Avaliação de empresas da Velha Tecnologia, da Nova Tecnologia e da Nova economia**. Trad. Marcelo Arantes Alvim e Sonia Midori Yamamoto. São Paulo: Mackron Books, 2002.

DORANTE, Adriana. **Energia solar é a fonte renovável mais promissora, diz Agência de Proteção Ambiental dos EUA**. 2021. Disponível em:

<https://www.portalsolar.com.br/noticias/politica/politica-internacional/energia-solar-e-a-fonte-renovavel-mais-promissora-diz-agencia-de-protecao-ambiental-dos-eua>. Acesso em: 24 set. 2023.

EDP. **Energia solar no Brasil: histórico, cenário atual e previsões**. 2023. Disponível em: <https://solucoes.edp.com.br/blog/energia-solar-no-brasil/>. Acesso em: 10 abr. 2024.

EDP. **Qual é a origem da energia solar? Conheça a história no Brasil e no mundo**. 2023. Disponível em: <https://solucoes.edp.com.br/blog/origem-da-energia-solar/>. Acesso em: 30 abr. 2024.

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021**. 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/EPEFactSheetAnuario2021.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2024.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2023**. 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>. Acesso em: 26 set. 2023.

FAMÁ, Rubens; BRUNI, Adriano Leal. **As Decisões de Investimentos: com Aplicações na HP12C e Excel**. São Paulo: Atlas, 2003, v. 2.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de Administração Financeira**, 7ª ed. São Paulo: HARBRA, 2002. 841 p.

HOJI, Masakazu. **Administração financeira: uma abordagem prática**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IPCA - Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo**: Séries históricas. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?=&t=series-historicas>. Acesso em: 26 abr. 2024.

PEREIRA et al.. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2ª ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>

IPEA. **ODS 7 - Energia Limpa e Acessível: o que mostra o retrato do Brasil?**. Rio de Janeiro: 2019. 34 p. Disponível em: https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/livros/livros/190502_cadernos_ODS_objetivo_7.pdf. Acesso em: 04 abr. 2024.

IRENA. **Renewable capacity statistics 2023**. Disponível em: <<https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/Renewable-capacity-statistics-2023>. >. Acesso em: 09 jun. 2023.

KASSAI, José Roberto et al. **Retorno de investimentos: Abordagem matemática e contábil de lucro empresarial**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

LIGHT. **Entenda a conta da sua casa**. Disponível em: <https://www.light.com.br/SitePages/page-entenda-a-conta-da-sua-casa.aspx>. Acesso em: 03 abr. 2024.

LORENZETTI, Leonardo. **Análise da Viabilidade de Investimento de uma Empresa do ramo de Distribuição de Gás Natural Comprimido (GNC)** 2013. 71 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Contábeis, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2013. Disponível em: <https://repositorio.uces.br/xmlui/bitstream/handle/11338/1662/TCC%20Leonardo%20Lorenzetti.pdf>. Acesso em: 19 maio 2024.

Ministério de Minas e Energia. **Brasil bate recorde de expansão da energia solar em 2023**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-bate-recorde-de-expansao-da-energia-solar-em-2023>. Acesso em: 15 abr. 2024.

Ministério de Minas e Energia. **Brasil se torna o oitavo maior país do mundo em capacidade instalada para geração de energia solar**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-se-torna-o-oitavo-maior-pais-do-mundo-em-capacidade-instalada-para-geracao-de-energia-solar>. Acesso em: 25 abr. 2024.

Ministério de Minas e Energia. **Geração de energia por fontes renováveis cresce em 2022**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2022/12/geracao-de-energia-por-fontes-renovaveis-cresce-em-2022>. Acesso em: 24 set. 2023.

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Os avanços e o futuro da energia solar no Brasil são destaques na rodada de painéis no estande do país na COP27.** 2022.

Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/brasil-na-cop/os-avancos-e-o-futuro-da-energia-solar-no-brasil-sao-destaques-na-rodada-de-paineis-no-estande-do-pais-na-cop-27>. Acesso em: 25 abr. 2024.

NEOSOLAR. Lei 14.300: **O Marco Legal da Geração Distribuída: Haverá taxaço do sol?** 2022. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/lei-14300-marco-legal-geracaodistribuida>. Acesso em: 01/10/2023.

PORTAL SOLAR. **Energia Solar no Brasil.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html>. Acesso em: 01 abr. 2024.

PORTUGAL, André Luiz de Souza. **Aplicação da teoria das Opções Reais na avaliação de uma usina hidrelétrica.** 2007. Dissertação (Doutorado) - Curso de Administração, Puc-Rio, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/11406/11406_1.PDF. Acesso em: 21 abr. 2024.

RIBEIRO, Vinicius Duarte Aquino Pinheiro. **Dimensionamento de um Sistema Solar Fotovoltaico das Áreas Comuns de um Condomínio Multifamiliar.** 2020. 82 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Candido Mendes, Campo dos Goytacazes, 2020. Disponível em: <https://www.ucam-campos.br/wp-content/uploads/2022/04/tcc-vinicius-duarte.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2024.

SAMANEZ, C. P. **Matemática Financeira: Aplicações à Análise de Investimentos.** 3ª edição: Pearson Prentice Hall, 2010.

SOUZA, Alceu; CLEMENTE, Ademir. **Decisões Financeiras e Análise de Investimentos.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

SPELLMEIER, Robson. **Análise da Viabilidade Econômico-Financeira da Implantação de um Lar de Idosos na Cidade de Roca Sales, considerando o Risco Associado ao Retorno Esperado.** 2019. 97 f. Monografia (Especialização) - Curso de Administração de Empresas, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2019. Disponível em: <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/7bcbe07a-e931-453c-a6e0-0bd65d35a666/content>. Acesso em: 01 maio 2024.

TESOURO DIRETO. **Tesouro IPCA + 2045**. Disponível em:

<https://www.tesourodireto.com.br/titulos/precos-e-taxas.htm#0>. Acesso em: 20 abr. 2024.

TOLMASQUIM, Mauricio T.. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar,**

Oceânica. Rio de Janeiro: EPE, 2016. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-172/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf)

[pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-172/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf)

[172/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-172/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf). Acesso em: 7 abr.

2024.

UNEP. **O aumento alarmante da temperatura global**. 2022. Disponível em:

[https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/o-aumento-alarante-da-](https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/o-aumento-alarante-da-temperatura-)

[temperatura-](https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/o-aumento-alarante-da-temperatura-global#:~:text=Em%202020%2C%20a%20concentra%C3%A7%C3%A3o%20de)
[global#:~:text=Em%202020%2C%20a%20concentra%C3%A7%C3%A3o%20de](https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/o-aumento-alarante-da-temperatura-global#:~:text=Em%202020%2C%20a%20concentra%C3%A7%C3%A3o%20de). Acesso em: 15 abr. 2024

WORLD BANK GROUP. **Global Solar Atlas**. Disponível em:

<https://globalsolaratlas.info/map>>. Acesso em: 21 jun. 2023.