



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MILLA VITORIA FILGUEIRA VICTOR

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICO-FINANCEIRA DO PROJETO DE UM
SISTEMA FOTOVOLTAICO COM GERAÇÃO COMPARTILHADA NA CIDADE
DE MOSSORÓ-RN**

MOSSORÓ

2020

MILLA VITORIA FILGUEIRA VICTOR

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICO-FINANCEIRA DO PROJETO DE UM
SISTEMA FOTOVOLTAICO COM GERAÇÃO COMPARTILHADA NA CIDADE
DE MOSSORÓ-RN**

Projeto de Engenharia Elétrica apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, campus Mossoró, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Olympio Cipriano da Silva Filho - UFERSA.

MOSSORÓ - RN

2020

RESUMO

Este trabalho analisa a viabilidade técnica e econômico-financeira do desenvolvimento de um projeto fotovoltaico com geração compartilhada na cidade de Mossoró, estado do Rio Grande do Norte, com o intuito de suprir a demanda energética de 40 unidades consumidores de médio porte com consumo mensal de 450kWh. A cidade em estudo encontra-se em constante desenvolvimento e verticalização das áreas urbanas, dessa forma, a geração compartilhada apresenta-se como uma ótima solução. O potencial de geração solar na região foi analisado através de dados meteorológicos obtidos no software Radiasol®, recursos normativos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e dados técnicos dos equipamentos escolhidos no mercado brasileiro para o dimensionamento do sistema fotovoltaico. Para avaliar a viabilidade dos custos da implementação do projeto foi feita uma análise econômico-financeira de uma faixa de retorno, TMA igual a 10%, esperado ao retornar da construção do sistema fotovoltaico. Para definir o preço de aluguel do m² do sistema foram considerados três cenários distintos os quais foram analisados através dos indicadores econômicos: TMA (taxa mínima de atratividade), VPL (valor presente líquido), TIR (taxa interna de retorno), IL (índice de lucratividade), *payback* e ROI (retorno sobre investimento).

A análise técnica revelou que a cidade de Mossoró possui um ótimo potencial de geração. Para atender o perfil de consumo dessas unidades consumidoras foi dimensionado um sistema de 137,76kWp, composto por 336 módulos monocristalinos de 410W de potência, do fabricante *Canadian Solar*. Já a análise financeira mostrou em todos os cenários análises positivas, porém foi escolhido o cenário 1 por possuir mais vantagens ao investidor. Para um custo inicial de R\$ 429.795,30 o valor de aluguel das cotas de energia será correspondente a uma tarifa de R\$0,46/kWh, ou seja, economia mensal de 30% nos custos com energia elétrica. O *payback* calculado foi de 5 anos e 6 meses, possuindo um ROI de 459,43%. Além de um índice de lucratividade 3,58 e TIR de 25,57%.

Foi concluído, após os critérios dos indicadores econômicos serem atendidos, que a implantação do projeto de um sistema fotovoltaico de geração compartilhada na cidade de Mossoró se apresentou bastante viável.

Palavras-chave: Energia Solar, Geração Compartilhada, Análise Econômica, Indicadores econômicos, Dimensionamento.

ABSTRACT

This work analyzes the technical and economic-financial feasibility of developing a photovoltaic project with shared generation in the city of Mossoró, state of Rio Grande do Norte, in order to meet the economic demand of 40 consumers medium-sized with monthly consumption of 450kWh. The city in analysis is in constant development and verticalization of urban areas, therefore, a shared generation presents itself as an optimal solution.

The solar generation potential in the region was analyzed through meteorological data used in the Radiasol® software, normative resources from the Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) and technical data of the equipment chosen in the Brazilian market for the dimensioning of the photovoltaic system.

To assess the feasibility of the project's implementation costs, an economic-financial analysis of a return range (TMA = 10%) was expected when returning from the construction of the photovoltaic system. To define the rental price of the system's in m², three different parameters were considered and which were analyzed by economic indicators: TMA (minimum attractiveness rate), NPV (net present value), TIR (internal rate of return), IL (profitability index), payback and ROI (return on investment).

A technical analysis about the city of Mossoró revealed that this city presents an excellent generation potential. To meet the consumption profile of these consumer units, a 137.76kWp system was designed, consisting of 336 modules with a power of 410W. A financial analysis showed, in all cases, positive analysis scenarios, but the scenario 1 was chosen because it has more advantages for the investor. For an initial cost of R\$ 429,795.30, the rent for the energy shares will be equivalent to a tariff of R \$ 0,46/kWh, that means the monthly saving of 30% in electricity costs. The calculated payback was 5 years and 6 months, the ROI was 459,43%. In addition to a profitability index of 3,58 and an IRR of 25,57%.

It was concluded, after the requirements of the economic indicators used, that the implementation of the project for a shared generation photovoltaic system in the city of Mossoró, is shown to be quite viable.

Keywords: Solar Energy, Shared Generation, Economic Analysis, Economic Indicators, Dimensioning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Crescimento de capacidade, em GW, da energia renovável entre 2019 e 2024..	13
Figura 2 – Matriz energética brasileira	14
Figura 3 – Participação das fontes na geração distribuída em 2019	14
Figura 4 – Geração de energia em GWh	15
Figura 5 – Banda gap de condutores, semicondutores e isolantes	16
Figura 6 – Efeito fotovoltaico	17
Figura 7 - Células Fotovoltaicas de silício	17
Figura 8 - Camadas de materiais em um painel fotovoltaico	18
Figura 9 - Curvas I x V da associação em série de módulos fotovoltaicos	18
Figura 10 - Curvas I x V da associação em paralelo de módulos fotovoltaicos	19
Figura 11 – Composição do sistema fotovoltaico	19
Figura 12 – Resumo comparativo de modelos de negócio de uma cooperativa	23
Figura 13 – Primeira usina solar por cooperativa de energia do brasil	24
Figura 14 – Processo de implantação de um sistema FV com geração compartilhada	25
Figura 15 – Região Geográfica Intermediária de Mossoró	30
Figura 16 - Consumo e número de consumidores da região Nordeste, ano de 2017	32
Figura 17 – Software Radasol®	33
Figura 18 – Inversor Sungrow SG110CX	36
Figura 19 – Módulos fotovoltaicos <i>Canadian Solar</i> HIKU CS3W – 400	37
Figura 20 – Geração e consumo estimados	40
Figura 21 – Gráfico da projeção do fluxo de caixa	51
Figura 22 – Infográfico da análise econômico-financeira do cenário 1	53
Figura 23 – Fluxo de caixa e valor presente do cenário 1	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo residencial do estado do Rio Grande do Norte, em kWh/mês.....	31
Tabela 2 – Estimativa da demanda energética mensal do sistema solar em Mossoró	32
Tabela 3 – Dados mensais de irradiação média da cidade de Mossoró	34
Tabela 4 – Temperaturas máximas e mínimas da cidade de Mossoró-RN	35
Tabela 5 – Dados do Inversor SG110CX	37
Tabela 6 – Dados dos Módulos fotovoltaicos <i>Canadian Solar</i> HIKU CS3W – 400	37
Tabela 7 – Perdas consideradas no dimensionamento do sistema fotovoltaico	38
Tabela 8 – Dimensionamento da potência do sistema fotovoltaico	39
Tabela 9 – Geração de Energia Mensal	40
Tabela 10 – Número máximo de módulos em série e paralelo	41
Tabela 11 – Área necessária para instalação do sistema fotovoltaico	42
Tabela 12 – Custo inicial do projeto	44
Tabela 13 – Análise tarifária ao longo de 25 anos	46
Tabela 14 – Custo inicial por m ² do sistema fotovoltaico	47
Tabela 15 – Geração média em kWh por m ²	47
Tabela 16 – Preço de aluguel	48
Tabela 17 – Custos a longo prazo	49
Tabela 18 – Receitas e despesas	50
Tabela 19 – Indicadores econômicos	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Considerações Iniciais	9
1.2 Objetivos	10
1.3 Estrutura do Trabalho	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Energia Fotovoltaica	11
2.1.1 Panorama mundial	12
2.1.2 Conjuntura da Energia Solar na Matriz Energética Brasileira	13
2.1.3 Efeito fotovoltaico	15
2.1.4 Células Fotovoltaicas	16
2.1.4 Módulos Fotovoltaicos	17
2.1.5 Inversores	20
2.1.6 Conexão com a rede de distribuição de energia	20
2.1.7 Geração distribuída	21
2.2 Geração Compartilhada	21
2.3 Índices de Avaliação Econômica	26
2.3. 1 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	26
2.3.2 Valor Presente Líquido (VPL)	26
2.3.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)	27
2.3.4 Índice de Lucratividade (IL)	28
2.3.5 <i>Payback</i>	28
2.3.6 ROI	29
3 METODOLOGIA	29
4 ESTUDO DE CASO	30
4.1 Descrição da Localidade	30
4.2 Perfil de Consumo	30

4.3 Dados Meteorológicos	33
5 ANÁLISE TÉCNICA	35
5.1 Inversor	35
5.2 Módulos	36
5.3 Determinação das Perdas do Sistema	38
5.4 Potência do Sistema	39
5.5 Arranjo dos Painéis	41
5.6 Condutores e Proteção	43
6 ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA	43
6.1 Custos Iniciais	43
6.2 Variação Tarifária	45
6.3 Definição de Custos	47
6.4 Projeção do Fluxo de Caixa	47
6.5 Avaliação dos Indicadores Econômicos	51
7 CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

O crescimento da demanda de consumo de energia elétrica no Brasil ocasionou a necessidade do investimento na diversificação da matriz energética, de forma que as fontes de energias renováveis passaram a ocupar um espaço maior na geração e a contribuir consideravelmente com a redução dos impactos ambientais causados pela maior parte dos recursos energéticos utilizadas no país.

Devido a constante preocupação com as formas de geração de energia e seus impactos ao meio ambiente, cada vez mais são buscadas formas de incentivo para uso de fontes renováveis. Dessa forma, a utilização da produção de energia através do sistema fotovoltaico vem tornando-se viável para os consumidores implantarem sistemas de microgeração ou minigeração em suas residências e comércios.

Sendo uma das fontes considerada mais limpa e sustentável, a energia fotovoltaica vem sido difundida ao longo dos anos, garantindo um sistema com eficiência e segurança. Utilizando o sol, recurso inesgotável, o sistema fotovoltaico gera energia elétrica através de módulos compostos de células de silício.

No processo de disseminação do uso da energia solar há alguns obstáculos que impedem uma maior expansão da utilização desse sistema. Um dos problemas é a falta de informação dos consumidores sobre a acessibilidade de adquirir a economia através da energia solar. O desconhecimento sobre o valor total de um projeto e formas de financiamento, causam receio da maior parte da população em buscar mais informações sobre o investimento.

Com o incentivo do uso da energia solar no país foram criadas normas que compreendem a geração distribuída, onde consumidores instalam sistemas fotovoltaicos em suas propriedades e geram sua própria energia. Através de um sistema de compensação a Resolução Normativa 687/2015 da ANEEL (2015) afirma que a geração e o consumo são compensados pela concessionária, porém em caso de excedentes são gerados créditos energéticos válidos por 60 meses, podendo ser utilizados em unidades consumidoras que possuem a mesma titularidade.

Outra barreira principal na utilização do sistema solar é o espaço para instalação dos módulos fotovoltaicos, os quais ocupam uma área considerável. Tendo a maioria dos consumidores, residenciais e comerciais, a intenção de instalar os painéis no telhado é necessário que o espaço seja adequado às condições de geração de energia tanto quanto ao

seu tamanho. Para garantir eficiência na geração devem ser considerados os fatores de incidência solar, sombreamento, condições climáticas e características do meio que possam causar obstrução da produção. Dessa forma, compreende-se que não são todas as propriedades que possuem esses requisitos favoráveis a instalação do sistema. Além de locais com intensa verticalização urbana, onde os prédios além de causarem sombreamento e prejudicarem a uniformidade da incidência solar, não possuem área suficiente para suprir os residentes.

Tendo em vista essas necessidades, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), através da sua resolução normativa nº 687/2015, viabilizou a geração de energia compartilhada. Segundo a ANEEL (2015), esta modalidade de geração é caracterizada pela reunião de consumidores que por meio de consórcio ou cooperativa possuam uma geração de energia distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada. Porém as unidades inclusas na geração compartilhada devem estar dentro da mesma área de concessão ou permissão, e o aluguel dos lotes de geração devem ser realizados por área e não por potência de energia gerada.

Nesse caso, o investidor da usina fotovoltaica aluga ou vende lotes do sistema para consumidores, fornecendo-os créditos energéticos que irão ocasionar na economia dos custos individuais com energia elétrica. Dessa forma, consumidores com restrição de espaço podem alugar lotes ou cotas de energia da área de instalação e utilizar os créditos de energia para compensação do seu consumo. Entretanto, ao se implantar um sistema fotovoltaico com geração compartilhada é necessário identificar a possibilidade e viabilidade técnico-financeira da aplicação dessa modalidade, principalmente para garantir a aceitação de investidores no projeto.

1.2 Objetivos

Em detrimento das necessidades que desencadeiam a inevitabilidade de disseminação do uso de sistemas com geração compartilhada, este trabalho tem como objetivo estudar, de forma prática, as formas de aplicação desse modelo de geração no Brasil. Para isso, será feita uma análise de viabilidade técnica da aplicação de um projeto de sistema de energia solar de geração compartilhada na cidade de Mossoró, no estado do Rio Grande do Norte. Incluindo o dimensionamento do sistema fotovoltaico através da análise da média de um perfil de consumo para 40 clientes residenciais.

Posteriormente, será realizada uma análise da viabilidade econômico-financeira da implantação desse projeto através da avaliação dos custos totais relativos à implementação

do sistema, determinando benefícios da geração solar para os clientes e retorno para o investidor, para assim, analisar a viabilidade econômica do projeto através dos seguintes indicadores econômicos: TMA, TIR, VPL, IL, ROI e *payback*.

1.3 Estrutura do Trabalho

A organização do presente trabalho, após a introdução, se inicia com o referencial teórico, capítulo 2, com informações necessárias ao entendimento do trabalho, sobre a energia fotovoltaica, sobre forma de geração de energia através do efeito fotovoltaico. Além disso, explicar detalhes relacionados ao modelo de geração compartilhada, suas características organizacionais e suas regulamentações. Ao final do capítulo, serão explanados os índices econômicos que serão utilizados no projeto.

O capítulo 3 apresentará detalhadamente a metodologia do projeto, descrevendo e explicando como serão realizadas as avaliações técnicas e econômico-financeira.

No capítulo 4, será desenvolvido o estudo de caso, sendo definido o perfil de consumo e demais características necessárias para o andamento do projeto do sistema FV.

No capítulo 5, será realizada a análise técnica, através do dimensionamento do sistema. E no capítulo 6 serão analisados os resultados econômicos e financeiros, através dos modelos de estudo apresentados.

Por fim, o capítulo 7 resumirá todo o trabalho e discutirá a viabilidade técnica e econômico-financeira da implementação do sistema fotovoltaico com geração compartilhada no município de Mossoró.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia Fotovoltaica

As energias renováveis estão tornando-se as melhores alternativas energéticas para a maioria dos países. A energia fotovoltaica é uma das principais apostas nessa evolução, por se tratar de uma forma de geração segura, acessível e com o menor índice de impactos ambientais. Dessa forma, em localidades com índice de incidência solar aptos para o aproveitamento, torna desnecessário o investimento em usinas nucleares, por exemplo.

2.1.1 Panorama mundial

Anualmente a Agência Internacional de Energia (IEA), realiza estudos e a elaboração de um relatório analisando toda a conjuntura energética mundial. O estudo mais recente apontou a energia solar fotovoltaica como a maior fonte de potencial de expansão, através da avaliação da situação atual da energia solar fotovoltaica distribuída, juntamente com a projeção do seu potencial de crescimento futuro.

Uma das etapas do estudo da IEA de 2019 compreendeu a análise das fontes renováveis e suas respectivas tecnologias, realizando a previsão do mercado durante o período entre os anos de 2019 e 2024. Para tal fim, são averiguados os setores de eletricidade, aquecimento e transporte, fornecendo tendências e desenvolvimentos globais para essa categoria de geração de energia.

A análise do IEA (2019) contém uma visão aprofundada da energia solar fotovoltaica distribuída, mostrando que essa modalidade poderá crescer mais do dobro da capacidade nos próximos cinco anos, representando quase metade de todo o crescimento da energia solar fotovoltaica.

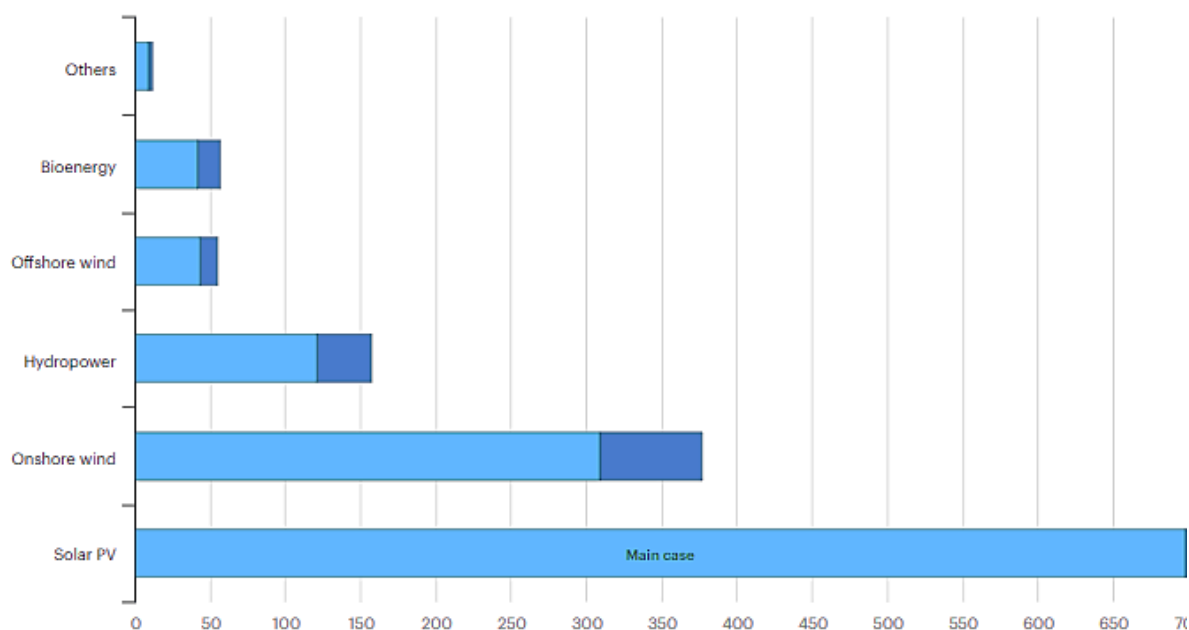
Dada a conjuntura atual, onde os consumidores possuem a capacidade de gerar sua própria energia, os sistemas fotovoltaicos designados a residências, comércios e indústrias tendem a um crescimento exponencial ao longo dos anos, trazendo mudanças significativas nos sistemas de energia.

A capacidade total de energia renovável tende a aumentar em torno de 50% durante os anos de 2019 a 2024, correspondente a um acréscimo energético de 1.200 GW, o qual é equivalente à capacidade total instalada de energia dos Estados Unidos atualmente. A energia solar possui o maior avanço dentre todas as outras fontes, sendo responsável por quase 60% do crescimento esperado. (IEA, 2019)

O relatório elaborado pela IEA (2019) prevê que a China represente quase metade do crescimento global de energia fotovoltaica distribuída, ultrapassando a União Europeia. Dessa forma, a conjuntura mundial será modificada sendo assim a China líder mundial em capacidade instalada em 2021. No entanto, a expansão da energia solar continua a aumentar na União Europeia em 2019, em detrimento da viabilização econômica da tecnologia e da melhoria no ambiente político do país.

A análise mostra que o Japão continua como um mercado forte, porém o crescimento da capacidade na Ásia será impulsionado pela Índia e Coreia. A expansão da geração por energia solar na América do Norte é duas vezes mais rápida entre 2019 e 2024 do que entre 2013 e 2018, sendo os Estados Unidos o principal agente atuante. (IEA, 2019)

Figura 1 - Crescimento de capacidade, em GW, da energia renovável entre 2019 e 2024.



FONTE: Adaptado de IEA (2019)

A Figura 1 expressa graficamente o crescimento da capacidade renovável no mundo, em GW, entre os anos de 2019 e 2024, segmentada por tecnologia. Esse gráfico representa a expansão da utilização da geração através de sistemas fotovoltaicos, além da comparação com as demais fontes de energia renovável.

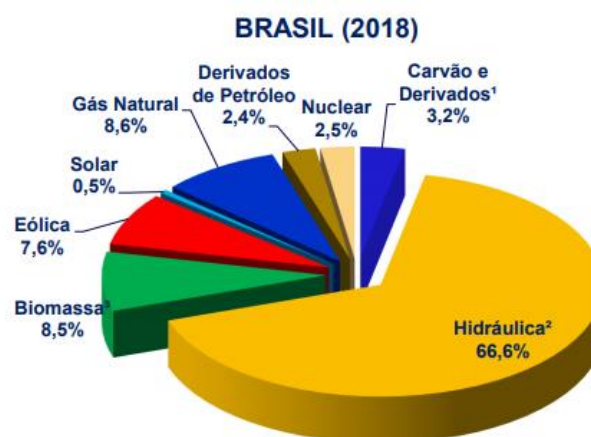
2.1.2 Conjuntura da Energia Solar na Matriz Energética Brasileira

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) elabora e publica anualmente o Balanço Energético Nacional (BEN), com a finalidade de apresentar a análise realizada em relação à oferta e ao consumo de energia no Brasil. Através de diversas pesquisas, o relatório síntese

do balanço energético nacional do ano de 2019, apresenta informações sobre a utilização da energia no Brasil em 2018. (EPE, 2019)

A matriz energética brasileira é bastante diversificada, porém as hidrelétricas ainda detêm a maior porcentagem. Através da Figura 2 é possível analisar as parcelas de cada fonte de geração de energia que compõe a matriz.

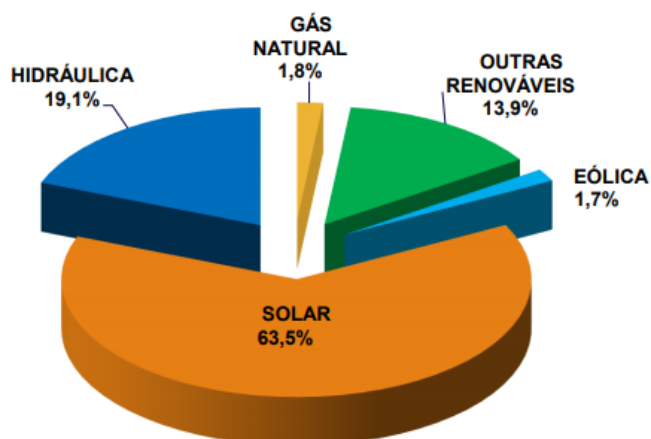
Figura 2 – Matriz energética brasileira.



FONTE: EPE (2019)

A energia solar, no montante de todas as formas de geração de energia elétrica no Brasil, representa uma parcela pequena de 0,5%. Porém, em comparação com as fontes renováveis, esta compreende a maior participação na geração distribuída em 2018 com 63,5%, como representado na Figura 3.

Figura 3 – Participação das fontes na geração distribuída em 2019.



FONTE: EPE (2019)

Dentre todas as fontes de energia utilizadas no Brasil, a energia solar se apresentou com maior porcentagem de crescimento de forma discrepante, com 316,1% representando uma geração total de 3.461GWh. A Figura 4 mostra a comparação entre o crescimento na geração de energia no Brasil, segmentado por fontes.

Figura 4 – Geração de energia em GWh.

Fonte	2017	2018	Δ 18/17
Hidrelétrica	370.906	388.971	4,9%
Gás Natural	65.593	54.622	-16,7%
Biomassa ²	51.023	52.267	2,4%
Derivados do Petróleo ³	12.458	9.293	-25,4%
Nuclear	15.739	15.674	-0,4%
Carvão Vapor	16.257	14.204	-12,6%
Eólica	42.373	48.475	14,4%
Solar Fotovoltaica	832	3.461	316,1%
Outras ⁴	14.146	14.429	2,0%
Geração Total	589.327	601.396	2,0%

FONTE: EPE (2019)

A instalação do primeiro sistema fotovoltaico conectado à rede ocorreu em 1995 pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco (Chesf) em Recife, com potência de 11kWp. E em 2002, a ANEEL iniciou seus estudos para regulamentar o uso de sistemas individuais de geração de energia elétrica com fontes intermitentes, os quais resultaram na Resolução Normativa nº 83/2004. (BARROSO, 2018)

Em 2011, uma iniciativa privada instaura a primeira usina fotovoltaica no Brasil, com potência de 1 MWp localizada em Tauá, no estado do Ceará. Já no ano seguinte, foi publicada a Resolução Normativa nº 482/2012 que regulamenta o modelo de compensação de energia elétrica para micro e mini geração distribuída. Essas regras acabaram por serem alteradas em 2015, através da Resolução Normativa nº 687/2015, passando a possibilitar a implantação de múltiplas unidades consumidoras, geração remota e geração compartilhada. (BARROSO, 2018)

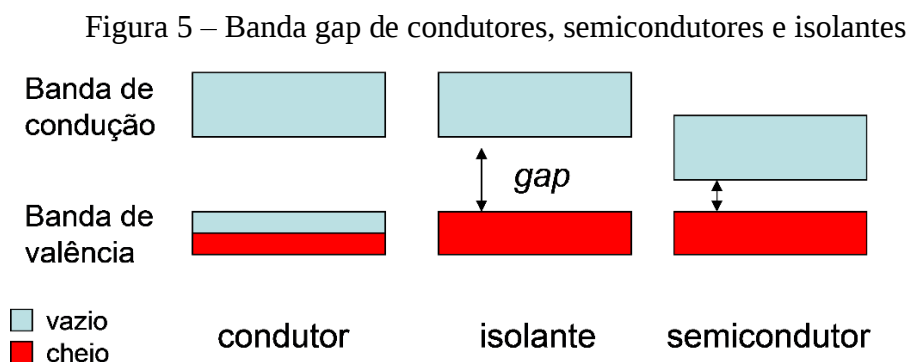
2.1.3 Efeito fotovoltaico

O efeito fotovoltaico (FV) realiza a conversão direta da luz em eletricidade originando a energia solar fotovoltaica. Este fenômeno foi descoberto pelo físico francês Edmond Becquerel, em 1839, através do aparecimento de uma diferença de potencial nos

extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. No momento da interação da radiação solar com o material semicondutor, ocorre a liberação e movimentação de elétrons, gerando-se assim uma diferença de potencial. (CRESESB, 2004)

De maneira simplificada, o efeito fotovoltaico ocorre ao surgir uma tensão elétrica em um semicondutor exposto a irradiação solar. Para compreender melhor sobre os processos de conversão, deve ser abordado o modelo atômico que demonstra o comportamento das partículas que compõem um átomo que um material possui. Admitindo a existência de três bandas de energia denominadas “banda de valência”, “banda de condução” e “banda gap”, geralmente estas bandas encontram-se, respectivamente: completamente cheia, vazia, e igual a um elétron-volt. Isso faz com que um semicondutor se comporte como um isolante à 0° Kelvin, mas, com o aumento da temperatura, começam a conduzir eletricidade, agindo como um condutor. (SOUZA, 2017)

Através da Figura 5 é possível determinar a diferença entre condutores, isolantes e semicondutores. O transporte eletrônico responsável pela condução elétrica ocorre quando a banda de valência está parcialmente ocupada. Os condutores permitem aos portadores de carga transitar sem restrições através de um pequeno fornecimento de energia. Porém em um isolante, a banda de valência está completamente cheia sendo separada da banda de condução por um gap. Isto quer dizer que, para que o material possa conduzir, os elétrons devem ganhar energia para chegar à banda de condução. No caso de um isolante, esta quantidade de energia é difícil de ser atingida. Já o semicondutor apresenta um valor razoável que pode ser obtido por radiação eletromagnética ou energia térmica. (PERON, 2009)

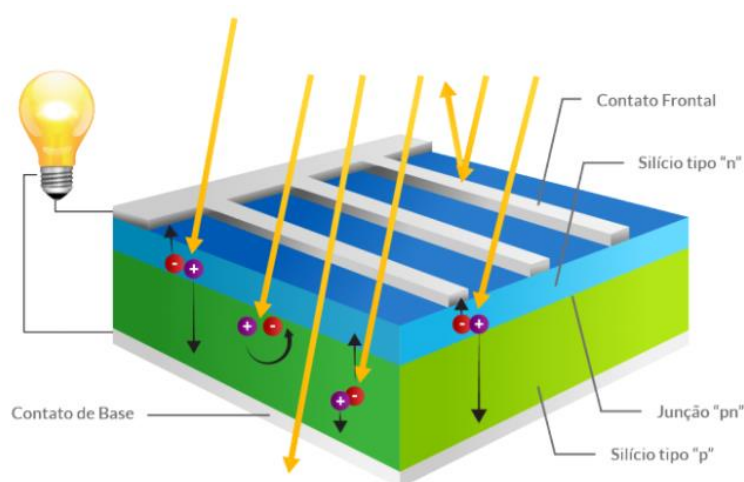


FONTE: Peron, 2009

2.1.4 Células Fotovoltaicas

O surgimento da tensão elétrica ocorre quando o elétron da banda de valência recebe energia suficiente do fóton para saltar a banda proibida e passar para a banda de condução. A Figura 6 representa o efeito fotovoltaico através de uma imagem que simboliza uma célula fotovoltaica. (FONTES, 2018)

Figura 6 – Efeito fotovoltaico.

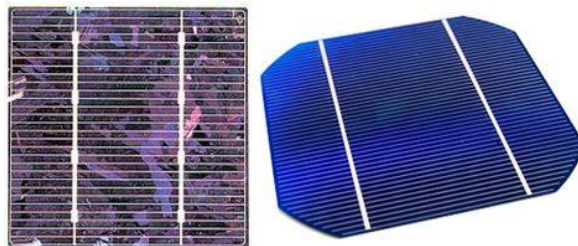


FONTE: Fontes, 2018.

Para a fabricação das células fotovoltaicas são necessárias duas camadas de um semicondutor, cada uma com um tipo de material dopante, pois quando um elétron migra para a região “P”, essa região fica carregada negativamente, enquanto a região “N” fica carregada positivamente. (ZILLES, 2016)

Atualmente, as células fotovoltaicas são produzidas utilizando o silício cristalino. Os tipos de células se diferenciam de acordo com os processos de produção, podendo ser de estrutura mono ou policristalina – Figura 7. O silício monocristalino é obtido pelo método de fusão zonal flutuante, enquanto as estruturas policristalinas são obtidas pela solidificação de pequenos cristais em um bloco a partir de quartzo de elevada pureza fundido. (GOETZBERGERA et. al., 2003)

Figura 7 - Células Fotovoltaicas de silício.

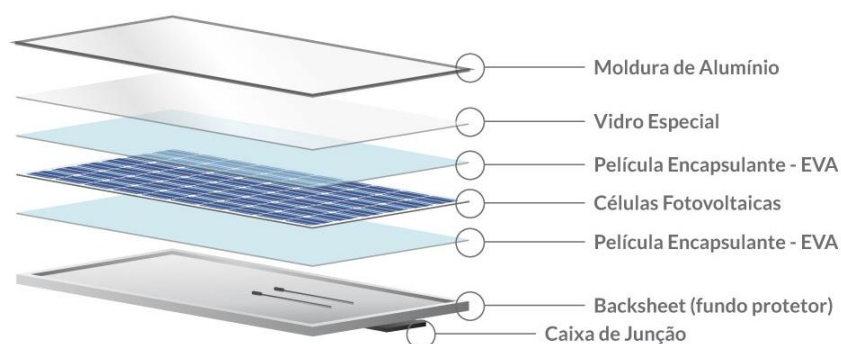


FONTE: Souza, 2018.

2.1.4 Módulos Fotovoltaicos

Para a produção em níveis usuais de energia, as células são agrupadas em arranjos, formando os módulos fotovoltaicos, estes são soldados em série ou em paralelo, e encapsuladas. O processo de encapsulamento ocorre com o posicionamento de camadas de diferentes materiais, como mostrado na Figura 8, sendo estes o vidro temperado de alta transparência, acetato de etilvinila (EVA) estabilizado para exposição à radiação ultravioleta, células, e um filme posterior isolante. Toda essa montagem é posicionada em uma moldura de alumínio anodizado para garantir a proteção contra intempéries e esforços mecânicos. (GOETZBERGER et. al., 2003)

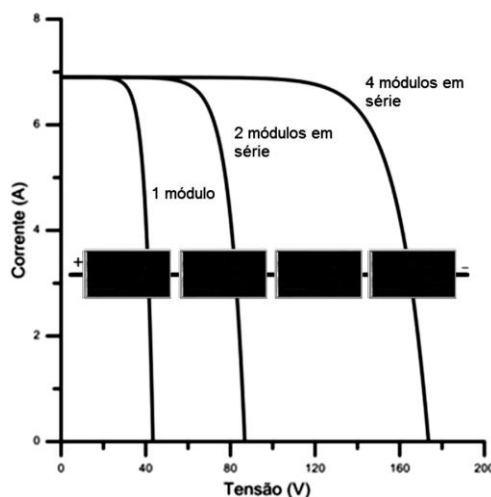
Figura 8 - Camadas de materiais em um painel fotovoltaico.



FONTE: Fontes, 2020

A geração de energia em maior porte necessita da associação de painéis fotovoltaicos de forma a otimizar o processo, podendo ser associados em série ou paralelo. O arranjo em série realiza a conexão entre as placas de forma que o terminal positivo de um módulo é conectado ao terminal negativo de outro módulo idêntico. Desse modo, obtêm-se o somatório das tensões de cada módulo e a corrente igual em todo o arranjo. Essa relação entre corrente e tensão está representada na Figura 9.

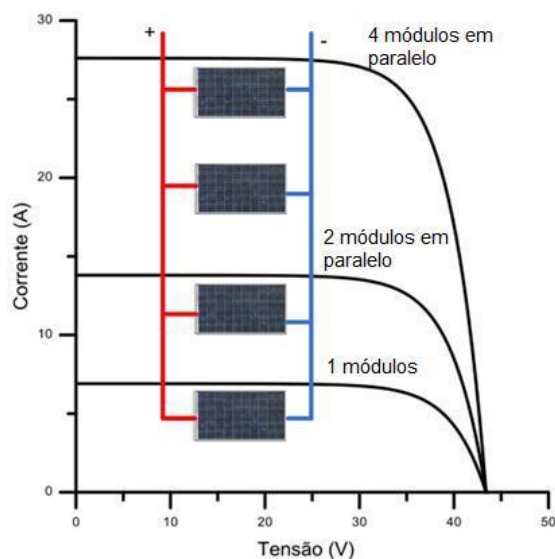
Figura 9 - Curvas I x V da associação em série de módulos fotovoltaicos.



FONTE: Alonso (2016)

Já os arranjos em paralelo possuem os terminais positivos e negativos conectados entre si. Em decorrência disso, a tensão permanece a mesma referente a um único módulo e as correntes são somadas. Essa relação entre corrente e tensão encontra-se representada na Figura 10.

Figura 10 - Curvas I x V da associação em paralelo de módulos fotovoltaicos.



FONTE: Alonso (2016)

A Figura 11 representa a composição de um sistema fotovoltaico, distinguindo e facilitando o entendimento dos conceitos de célula, painel e arranjo fotovoltaico.

Figura 11 – Composição do sistema fotovoltaico.



FONTE: Portal solar (2019)

2.1.5 Inversores

O inversor é um dos principais equipamentos do sistema de energia solar, pois sua função compreende em inverter a energia elétrica gerada pelos painéis, de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). Possui também um papel de garantir a segurança do sistema e medir a energia produzida pelos painéis solares. Além disso permite um rastreamento do ponto de máxima potência através de entradas MPPT. (PORTAL SOLAR, 2019)

Os tipos de inversores de mais comum utilização são os de rede e os autônomos. Os inversores de rede são conhecidos também como Grid-Tie, este é aplicado a sistemas de geração solar compartilhada. Já os inversores autônomos funcionam ligados a um banco de baterias, onde a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos é armazenada (SILVA, 2015).

2.1.6 Conexão com a rede de distribuição de energia

Um sistema fotovoltaico pode ser classificado em três categorias: sistemas isolados, híbridos e conectados à rede. Esta classificação é feita de acordo com a unidade de controle de potência e de armazenamento. Os sistemas híbridos são pouco utilizados, estes apresentam várias fontes de geração de energia de forma controlada, para que haja máxima eficiência na geração.

Os sistemas isolados devem utilizar de alguma forma de armazenar a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos ou consumir imediatamente a geração. Este armazenamento pode ser feito através de baterias, quando se deseja utilizar aparelhos elétricos ou armazenar-se na forma de energia gravitacional quando se bombeia água para tanques em sistemas de abastecimento. Ao utilizar baterias para o armazenamento de energia, é necessário usar um dispositivo para controlar a carga e a descarga na bateria. O controlador de carga tem o intuito de não deixar que haja danos na bateria por sobrecarga ou descarga profunda. (CRESESB, 2004)

Os sistemas conectados à rede, amplamente utilizado, não utilizam armazenamento de energia já que toda a geração é entregue diretamente na rede. Todo o arranjo é conectado em inversores e logo em seguida a energia gerada é injetada diretamente na rede. Por isso, os inversores devem satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja afetada. (CRESESB, 2004)

2.1.7 Geração distribuída

A geração distribuída de energia elétrica trouxe para os consumidores a possibilidade de aliar economia financeira e consciência socioambiental. Os incentivos a essa modalidade se justificam pelos potenciais benefícios possíveis a serem proporcionados por ela ao sistema elétrico.

A partir da efetivação da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor pode gerar sua própria energia a partir de fontes renováveis, fornecendo assim o excedente para a rede de distribuição local. Atualmente, é permitido o uso de qualquer fonte renovável, denominando-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (kW) e minigeração distribuída as usinas com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Outro fator importante a ser conhecido sobre a geração distribuída, é a taxa de disponibilidade. Para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão - grupo B-, mesmo que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, deverá ser pago um custo de disponibilidade com valor correspondente, em reais, a 30 kWh para unidades monofásicas, 50 kWh para unidades bifásicas ou 100 kWh para trifásicas. Já para os consumidores conectados em alta tensão (grupo A), nesse caso de total abatimento do consumo, a parcela da fatura será correspondente à demanda contratada. (ANEEL, 2012)

De acordo com a ANEEL (2012), os sistemas fotovoltaicos devem ser submetidos a um sistema de compensação de energia impondo que se a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor ficará com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. O prazo de validade dos créditos passou a ser 60 meses, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora.

2.2 Geração Compartilhada

Segundo a resolução normativa 687/2015, a ANEEL reconhece a geração compartilhada como um dos cinco modelos de geração fotovoltaica. A geração compartilhada se trata de um modelo em que um grupo de pessoas físicas ou jurídicas se reúnem através de um consórcio ou cooperativa com o objetivo de gerar energia. Dessa forma, a unidade consumidora onde encontra-se instalado o sistema fotovoltaico pertence a cooperativa ou consórcio, enquanto as unidades demais que serão compensadas com os créditos, pertence aos envolvidos da associação. (ENOVA SOLAR ENERGIA LTDA, 2017)

Os consórcios de geração distribuída reúnem empresas, pessoas jurídicas, que firmam um contrato entre si para se beneficiarem das vantagens do compartilhamento de recursos. De acordo com a Lei nº 6.404, de 15 de dezembro de 1976, o consórcio precisa se inscrever no CNPJ e ser o titular da unidade consumidora (UC) onde será instalado o gerador. Além disso, também é permitido pela regulação da ANEEL que consórcios destinados a propiciar o acesso ao consumo de bens e serviços também possam aderir ao Sistema de Compensação. Dessa forma, a administradora será a titular da UC de instalação. (LIMA, 2018)

Com a finalidade de inscrição no CNPJ, o consórcio pode ser constituído através da Lei n. 6.404/76, onde o consórcio deverá possuir personalidade jurídica, sendo o mesmo o titular da UC onde a geração distribuída encontra-se instalada. (BRASIL, 1976) Também pode se basear no disposto na Lei nº11.795/2008, onde a titularidade da unidade consumidora em questão é de responsabilidade da administradora do consórcio. Em ambos os casos, não há critério para a divisão da energia excedente, pois é de responsabilidade da cooperativa definir o percentual de energia gerada que será atribuída para cada participante. Em caso de créditos de energia excedentes, estes permanecem na unidade consumidora onde o sistema fotovoltaico está instalado.

Uma cooperativa de geração distribuída consiste na reunião de pessoas, físicas e/ou jurídicas, que têm em comum o interesse na produção de energia através do sistema fotovoltaico de forma partilhada. A sociedade deve ser formada por, no mínimo, 20 pessoas físicas, onde a energia gerada será distribuída na forma de créditos em kWh entre os cooperados, dividida em percentuais previamente definidos por todos. Por reunir os recursos de diversas pessoas dentro de uma única organização, a cooperativa reduz os custos e alcança vantagens econômicas maiores que de forma individual. (LIMA, 2018)

O capítulo sete da Lei N°10.406 do Código Civil rege a sociedade cooperativa, onde determina como suas características principais: a variabilidade do capital social; necessidade de realização de concurso de sócios em número mínimo necessário a compor a administração da sociedade, limitação do valor da soma de quotas do capital social que cada sócio poderá tomar e intransferibilidade das quotas do capital a terceiros estranhos à sociedade. Além disso, a distribuição dos resultados obtidos deve ser feita proporcionalmente ao valor das operações efetuadas, podendo ser atribuído juro fixo ao capital. Também define que para a tomada de decisões relacionadas ao conjunto devem ser realizadas assembleias, possuindo um quorum fundado no número de sócios presentes à reunião para poder ter resultados válidos, possuindo cada sócio o direito a um só voto nas deliberações. Por isso, a área de admissão de associados é limitada às possibilidades de reunião, controle, operações e prestação de serviços. (BRASIL, 2002)

O artigo 1.095 da Lei N°10.406 do Código Civil explana sobre a responsabilidade dos sócios na sociedade cooperativa, determinando que esta pode ser limitada ou ilimitada. A responsabilidade limitada quando o sócio responde somente pelo valor de suas quotas e pelo prejuízo verificado nas operações sociais, de acordo com a proporção de sua participação. E ilimitada quando o sócio responde solidária e ilimitadamente pelas obrigações sociais. (BRASIL, 2002)

Além disso, a cooperativa pode atribuir diferentes modelos de funcionamento e negócios a depender dos interesses coletivos, como mostra a Figura 12.

Figura 12 – Resumo comparativo de modelos de negócio de uma cooperativa

Modelo	Recursos Próprios	Financiamento Externo	Locação de Gerador FV
Ideal para	Quem tem recursos disponíveis para investir	Quem não possui recurso próprio para investimento	
Fluxo financeiro	Cooperados se beneficiam de toda a economia produzida pelo gerador FV	Cooperados utilizam a economia na conta para pagar o financiamento. Depois de quitado, beneficiam-se de toda a economia produzida pelo gerador	Será pago mensalmente um valor ao locador que, preferencialmente, deve ser menor do que a economia na conta de energia. Períodos de locação normalmente são superiores a 10 anos

FONTE: Lima (2018)

A lei Nº 5.764/1971 determina que as cooperativas devem possuir os seguintes critérios: denominação, sede, objeto, estatuto, AGO, Conselho Fiscal, nome dos associados, nacionalidade, residência e número de quotas parte de cada associado. A divisão da energia gerada pelo sistema fotovoltaico deve ter limite mínimo de um terço de cada quota para cada associado. (BRASIL, 1971)

A primeira cooperativa de energia do Brasil encontra-se no Pará, a COOBER é composta por uma microusina de 75 kWp de potência, com 288 placas fotovoltaicas que geram em média 11.550 KW/h por mês – Figura 13. A cooperativa mostra que toda a energia foi injetada no sistema da concessionária CELPA e os créditos gerados foram rateados entre os cooperados para o abatimento da conta de energia individual. (FALCÃO, 2019)

Figura 13 – Primeira usina solar por cooperativa de energia do Brasil.



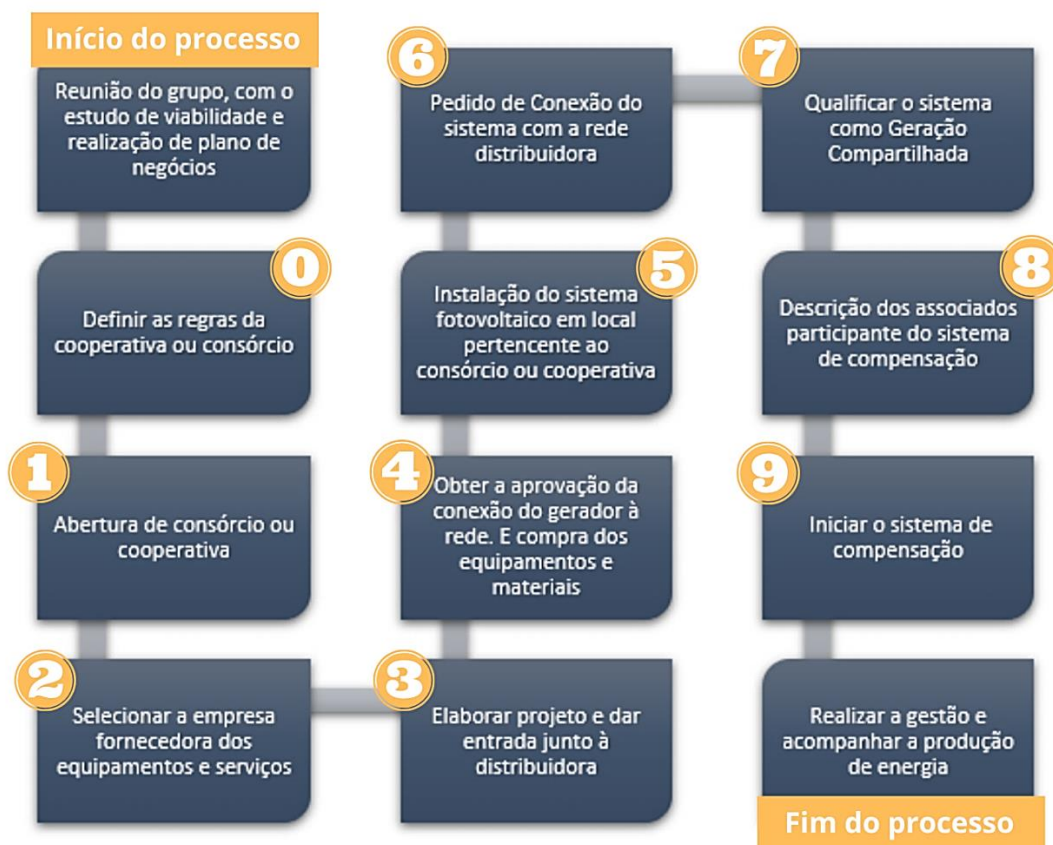
FONTE: Coober (2017)

Ambos os modelos de geração compartilhada devem deter propriedade ou posse direta de área onde está instalada o sistema fotovoltaico, porém os equipamentos utilizados na geração distribuída podem ser alugados, comprados ou arrendados. Os percentuais da energia excedente que será destinado a cada unidade consumidora participante do sistema de compensação de energia elétrica, tanto nos consórcios como nas cooperativas, devem ser informados à distribuidora com antecedência recomendada de 60 dias. Além disso, também devem dispor de um instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes perante a distribuidora de energia. O documento adequado para este quesito é seu ato constitutivo ou contrato de participação. (LIMA, 2018)

Para o contrato de consórcio, de forma a comprovar a solidariedade, deve ser efetuado um contrato social ou estatuto social, o qual determinará a cota relativa de energia percentualmente, que será dividida para cada consorciado, dentro das condições definidas na ata de constituição. Para o contrato de cooperativa deve ser elaborado o estatuto social, a ata de constituição do consórcio, e um contrato de compromisso de solidariedade. (FALCÃO, 2019)

A Figura 14 apresenta um resumo dos processos que devem ser realizados, de forma geral, para a implementação de um sistema fotovoltaico com geração compartilhada, no modelo de consórcio ou cooperativa.

Figura 14 – Processo de implantação de um sistema FV com geração compartilhada.



FONTE: Adaptado de Lima (2018)

A principal indagação sobre a geração compartilhada vem a ser relacionada ao processo de compensação do consumo de energia, por parte da concessionária, de unidades consumidoras de titularidades distintas. Porém, estando todos envolvidos no consórcio ou cooperativa dentro da mesma área de concessão da distribuidora de energia, o sistema irá operar da mesma maneira da geração distribuída. Onde é feita a transferência dos créditos excedentes entre propriedades onde a mesma titularidade ou sendo CPF ou CNPJ diferentes, deve ser firmado em contrato registrado em cartório.

A utilização da energia compartilhada ofertou a facilidade para a produção de energia solar em maior escala. Pois, com esse modelo de geração, os problemas de espaço geográfico são resolvidos devido a instalação fora dos centros urbanos. Também viabiliza financeiramente para os interessados que não dispõem de altos recursos para sustentar os custos iniciais fixos, facilitando os investimentos na geração de energia solar.

Outros fatores positivos atrelados a geração compartilhada, são a praticidade e mobilidade oferecida pela geração compartilhada, pois todo o processo de instalação das usinas é responsabilidade do administrador, o qual concederá apenas a propriedade de pequenas porções de área aos interessados, alugando ou vendendo. Dessa forma, reduz os

trâmites para esse processo e o associado pode se deslocar dentro de toda a área de cobertura da distribuidora de energia levando os créditos energéticos consigo.

2.3 Índices de Avaliação Econômica

Diversos métodos podem ser utilizados para avaliar as alternativas de investimentos. Essa avaliação de um projeto desenvolve um conjunto de técnicas que compreendem os reflexos nos resultados financeiros de forma criteriosa. Dentre os indicadores financeiros mais utilizados, nesse presente trabalho a análise econômica e financeira será realizada através do Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Mínima de Atratividade (TMA), Taxa Interna de Retorno (TIR), Índice de Lucratividade (IL), Payback e o ROI. Os resultados obtidos por todos estes métodos em conjunto proporcionarão ao investidor uma proposta de retorno e lucratividade com maior segurança.

2.3.1 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

O estudo de viabilidade econômica de um negócio está diretamente correlacionado à taxa de desconto, a qual representa um indicador utilizado para comparar o retorno do investimento. Dessa forma, retrata o grau de risco, pois leva a compreensão do retorno oferecido após a aplicação do capital. A taxa de desconto pode ser determinada de diversos modos, nesse estudo será empregue a taxa mínima de atratividade (TMA) que será utilizada nos comparativos com os demais indicadores.

A taxa mínima de atratividade foi escolhida para ser utilizada nessa análise pois o investimento possui um grau de risco menor. Esta determina a taxa que o investidor está disposto a ter de retorno ao realizar a aquisição, além do valor a ser pago ou recebido no futuro. (CAMARGO, 2017)

A TMA é estipulada pelos investidores, sendo geralmente maior do que a taxa de juros básica da economia, para que com isso o investimento seja mais rentável do que a aplicação dos recursos em renda fixa.

2.3.2 Valor Presente Líquido (VPL)

O indicador econômico do valor presente líquido é utilizado para auxiliar na decisão sobre o investimento, indicando sua viabilidade. No cálculo do VPL é considerado o fluxo

de caixa que foi projetado anteriormente, corrigidos pela taxa de desconto TMA, resultando no investimento ao final do tempo de análise.

A equação (1) representa matematicamente como é possível determinar o valor presente líquido, sendo este calculado pela soma dos valores de fluxo de caixa (FC_j) que ocorrem ao longo da vida útil do projeto (j), considerando a taxa de desconto (i) e subtraindo do valor do investimento inicial (FC_0).

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0 \quad (1)$$

O valor presente líquido quando não descontado o investimento inicial representa o valor presente (VP), o qual constitui incluir ao custo atual a variação da moeda ao longo do tempo, pois ao passar dos anos a mesma quantia de dinheiro não possui o mesmo valor.

De acordo com Brigham e Ehrhardt (2012), a definição de um VPL positivo indica que o capital investido será recuperado, gerando um ganho extra de acordo com a taxa de juros. Se o VPL for igual a zero não suscitará em nenhum lucro e caso seja negativo, o investimento deve ser descartado. Dessa forma, para definir a viabilidade do investimento através do método do valor presente líquido deve verificar se o VPL é maior que zero, pois assim o projeto poderá ser aceito. Porém se o VPL for menor que zero o investimento será rejeitado.

2.3.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno atrelada a TMA mostra ao investidor se suas metas serão alcançadas, determinando a taxa de desconto que irá zerar o valor presente líquido de um projeto. (MOTTA et al., 2009) Ou seja, é uma taxa que quando utilizada como taxa de desconto resulta no VPL nulo. O cálculo da TIR é identificado através da Equação 2, onde fluxo de caixa inicial (FC_0) é representado pelo valor do investimento e os demais fluxos (FC_j) indicam os valores das receitas ou despesas durante um período (j).

$$FC_0 = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+TIR)^j} \quad (2)$$

O cálculo desta taxa acaba por ser interpretado através da comparação com a taxa mínima de atratividade, onde determina um investimento como rentável se o resultado da TIR for maior ou igual à TMA, de acordo com os preceitos estabelecidos. Assim, o método da TIR, ao levar em consideração o dinheiro ao longo do tempo, expressa a rentabilidade de uma aplicação. (ASSAF NETO, 2007).

2.3.4 Índice de Lucratividade (IL)

O índice de lucratividade relaciona o valor presente líquido do projeto e o módulo do valor presente dos custos desse projeto e determina os resultados encontrados em forma de índice, conforme representado na Equação 3. Este índice serve como medida do retorno esperado por unidade monetária investida, demonstrando a relação do lucro apurado após a venda da produção. (BRAGA, 1995)

$$IL = \frac{VPL}{Custos\ Iniciais} \quad (3)$$

A análise desse indicador mostra a viabilidade de um investimento, de forma que quando o IL for maior ou igual a 1 (um), a proposta fornecerá benefícios monetários superiores às despesas. Porém a proposta pode se mostrar economicamente inviável quando o IL for menor do que 1 (um).

2.3.5 Payback

Um dos principais argumentos para definir a viabilidade econômica de um investimento é identificar o tempo necessário para obter o retorno financeiro. O *payback* fornece o tempo necessário para reaver um investimento, admitindo a decisão de aceitação ou rejeição como responsabilidade do investidor junto aos seus objetivos iniciais.

A análise do projeto através desse indicador possui a vantagem de este considerar o tempo à medida que avalia sua necessidade financeira, para que seja mantido o investimento até o momento de gerar os caixas futuros positivos. (LIZOTE, 2014)

2.3.6 ROI

O ROI, também denominado de retorno sobre investimento, pode ser usado para calcular a aquisição de um projeto específico, de forma a perceber se os retornos estão adequados ao esperado. Além disso, o cálculo desse indicador através da Equação 4, facilita na identificação de possíveis falhas, antecipando oportunidades que poderão prever riscos futuros ao investimento. (GUIMARÃES, 2018)

$$\text{ROI} = \frac{\text{Receitas} - \text{Custos}}{\text{Custos}} \quad (4)$$

3 METODOLOGIA

O presente trabalho irá avaliar tecnicamente e de forma econômico-financeira a implantação de um sistema fotovoltaico por geração compartilhada, conectado à rede na cidade de Mossoró, no estado do Rio Grande do Norte. Para essa simulação será definido o perfil de consumo médio mensal de 40 unidades consumidoras de médio porte, determinando a demanda energética necessária a ser gerada pelo sistema FV.

Posteriormente, serão levantados dados temperatura e de irradiação solar média da cidade de Mossoró, através do software Radiasol®. Com tais dados, é possível determinar a capacidade de geração de energia e dimensionar um sistema fotovoltaico que atenda as características necessárias.

Após obter os dados técnicos, será iniciada a análise financeira através da determinação do investimento inicial para instalação do projeto. Também será realizada a análise tarifária ao longo de 25 anos, para determinar uma tarifa base a ser utilizada e para analisar o retorno do investimento.

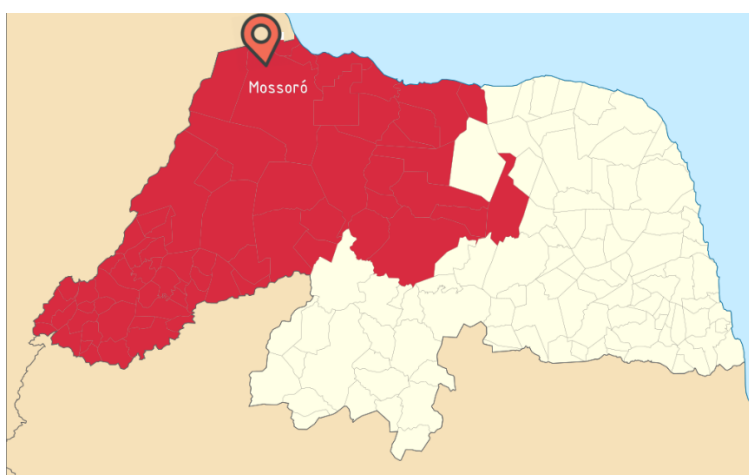
Para definir o valor de aluguel da área, em m², serão considerados três cenários com porcentagem de economia para o cliente distintas. Serão utilizados indicadores econômicos para definir a viabilidade do projeto, sendo esses: TMA, VPL, IL, TIR, ROI e *payback*. Assim, a partir dos dados obtidos será feita uma análise final do projeto determinando a tarifa atrativa para os consumidores finais da energia e um retorno considerável para o investidor.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Descrição da Localidade

A cidade de Mossoró, é localizada na região Nordeste do Brasil, no estado do Rio Grande do Norte. A Figura 15 representa o estado dividido em regiões geográficas intermediárias, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019) sendo Mossoró o município mais populoso dessa área, o mesmo torna-se a denominação de uma das três regiões intermediárias do estado.

Figura 15 – Região Geográfica Intermediária de Mossoró.



FONTE: Adaptado de Google maps

Sendo a segunda cidade mais influente do estado do Rio Grande do Norte, também denominada de terra do sal, Mossoró encontra-se em constante crescimento estrutural e econômico. Segundo os dados obtidos pelo IBGE (2018), um fator relacionado a esse grande desenvolvimento se dá por possuir uma extensão territorial considerada a maior do Rio Grande do Norte, possuindo em média 25.030,68 quilômetros quadrados. Além disso, o município possui localização privilegiada ao se situar entre as duas maiores capitais do Nordeste, sendo estas Natal e Fortaleza. (PREFEITURA MUNICIPAL DE MOSSORÓ, 2019)

4.2 Perfil de Consumo

A influência de Mossoró no estado do Rio Grande do Norte se deve a um conjunto de fatores que movimentam a economia local. A cidade oferece comércio, educação e

saúde privada, polo universitário, entretenimento e maior qualidade de serviços gerais, para muitos municípios vizinhos pertencentes a mesma região geográfica intermediária, a qual Mossoró serve como ponto de apoio. Dessa forma, é perceptível que, na última década, houve um crescimento exponencial no desenvolvimento da cidade, consequentemente causando uma expansão na quantidade e variedade de empresas.

A ascensão da economia mossoroense vem ocasionando a crescente verticalização da cidade. Além de prédios comerciais serem utilizados como alternativa para o esgotamento de empresas em pontos centrais e estratégicos de Mossoró, o principal contribuinte são os prédios residenciais. Em busca da segurança e comodidade, uma grande parte da população, ao conseguir uma renda mais estável, busca pela moradia em apartamentos. A proposta de um sistema solar de geração compartilhada torna-se atrativa para os moradores de prédios residenciais em detrimento da falta de espaço que estes possuem para a instalação de um sistema de energia fotovoltaica individual.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) realizou o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018, apresentando dados relacionados ao consumo de energia elétrica na rede de distribuição nos últimos anos. Este anuário foi construído através da compilação de dados, coletados e consolidados pela EPE ao longo do ano de 2018, com informações referentes aos anos de 2013 a 2017. (EPE, 2018)

A Tabela 1 apresenta os dados de consumo médio mensal para unidades residenciais do estado do Rio Grande do Norte, retirados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018 pertencente ao EPE.

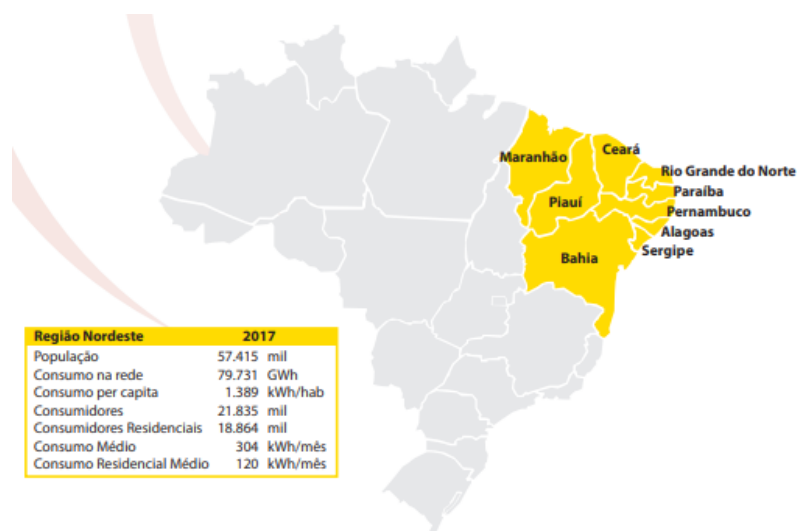
Tabela 1 - Consumo residencial do estado do Rio Grande do Norte, em kWh/mês.

Localidade	Consumo médio Residencial (kWh/mês)				
	2013	2014	2015	2016	2017
Rio Grande do Norte	139,2	143,5	142,9	143,6	142,5

FONTE: Adaptado de EPE (2018)

Em comparação com o consumo médio residencial no Nordeste, Figura 16, o estado do Rio Grande do Norte mostra consumir mais que o estimado pela região.

Figura 16 - Consumo e número de consumidores da região Nordeste, ano de 2017.



FONTE: EPE (2018)

Para o dimensionamento da geração de energia necessária pelo condomínio solar na cidade de Mossoró, foi realizada uma simulação de demanda energética estimada para um prédio residencial contendo 40 unidades consumidoras de consumo médio. Na quantificação dessa demanda foi considerado o consumo médio residencial do Rio Grande do Norte, juntamente com o consumo de dois aparelhos de ar-condicionado, de 9.000 BTU (unidade de medida da energia gasta na mudança de temperatura), funcionando durante oito horas por dia.

Através da tabela de estimativa de consumo médio mensal de eletrodomésticos, fornecida pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), foi possível determinar o consumo médio dos dois aparelhos de ar-condicionado split de 9.000 BTU, de acordo com um uso hipotético, e simular a demanda energética total necessária, como demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Estimativa da demanda energética mensal do sistema solar em Mossoró.

Descrição	Consumo	Quantidade	Total
Média de Consumo Residencial	142,5	1	142,5
Consumo Ar condicionado	142,28	2	284,56
Demanda Energética Individual	427,06 kWh		
Unidades Consumidoras	40		
Demanda Energética Total	17.082,40 kWh		
Demanda Energética Estimada	18.000,00 kWh		

FONTE: Procel (2006)

A análise da demanda energética e das necessidades de consumo na cidade de Mossoró foi necessária para a definição do perfil de consumo, sendo este definido como 40 unidades consumidoras residenciais, onde cada uma possui um consumo médio de 450kWh/mês.

4.3 Dados Meteorológicos

O dimensionamento do sistema fotovoltaico conectado à rede determina a capacidade de geração necessária para o consumo estimado, para esse fim, é utilizada a média de irradiação diária através de horas de sol pico (HSP). Considerando como pico a incidência de uma irradiação solar de 1000W/m^2 , a HSP determina a quantidade de energia recebida, por unidade de área, durante uma hora dessa irradiação padronizada. Ou seja, é uma unidade de medida que transforma a radiação média no equivalente a horas de sol.

Os painéis fotovoltaicos devem ser instalados nas melhores condições para o aproveitamento da incidência dos raios solares. Para determinar a capacidade de geração do sistema fotovoltaico na cidade de Mossoró foi utilizado o software Radasol®, onde é possível obter a intensidade da radiação solar em superfícies inclinadas, além de sugerir o melhor ângulo de inclinação para os módulos fotovoltaicos, como representado na Figura 17.

Figura 17 – Software Radasol®.



FONTE: Autoria Própria

De acordo com os dados inseridos no Radiasol® foi determinado os valores médios mensais da radiação para a cidade de Mossoró considerando uma inclinação de 20°, descrito na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados mensais de irradiação média da cidade de Mossoró.

Mês	Irradiação média (kWh/m²/dia)
Janeiro	4,69
Fevereiro	4,95
Março	5,01
Abril	5,06
Maio	5,57
Junho	5,33
Julho	5,73
Agosto	6,35
Setembro	6,09
Outubro	5,96
Novembro	5,52
Dezembro	4,97

FONTE: Autoria Própria.

A variação de temperatura no local de instalação do sistema fotovoltaico também representa um fator importante para determinar a geração de energia. A Tabela 4 contém dados de temperaturas máximas e mínimas da cidade de Mossoró, retirados das Normais Climatológicas do Brasil para o período de 1981-2010, fornecida em 2018 pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), órgão responsável oficial pelo monitoramento climático nacional.

Tabela 4 – Temperaturas máximas e mínimas da cidade de Mossoró-RN.

Mês	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)
Janeiro	34,1	24,4
Fevereiro	33,9	24
Março	33,1	23,6
Abril	32,6	23,5
Maio	32,6	23,1
Junho	32,5	22
Julho	33,1	21,6
Agosto	34,3	21,7
Setembro	35	22,6
Outubro	35,1	23,5
Novembro	34,9	23,7
Dezembro	34,8	24,2

FONTE: Adaptado de INMET (2018)

5 ANÁLISE TÉCNICA

O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi realizado seguindo etapas construtivas para determinar a geração de energia. Dessa forma, primeiramente foram determinados os equipamentos a serem utilizados no sistema. Os módulos e inversores foram escolhidos de acordo com a qualidade, eficiência e autoridade dos fabricantes. Posteriormente, a potência total do sistema e quantidade de módulos são determinados após o cálculo das perdas presentes na geração de energia.

5.1 Inversor

O inversor representa uma das maiores responsabilidades no sistema fotovoltaico, adequando a energia gerada, dessa forma, é necessário garantir uma segurança no equipamento adquirido para evitar prejuízos futuros. O inversor escolhido pertence a *Sungrow*, um fornecedor que possui mais de 87 GW de potência instalada no mundo. Além disso, a empresa oferece soluções de inversor fotovoltaico para aplicação em sistemas de maior porte.

O modelo de inversor escolhido denomina-se SG110CX, representado na Figura 18, o qual possui string de múltiplos MPPTs, monitoramento da geração e funcionamento do sistema através de comunicação wireless.

Figura 18 – Inversor Sungrow SG110CX.



FONTE: Sungrow (2019)

A Tabela 5 apresenta dados referentes ao inversor escolhido, os quais foram retirados da folha de dados fornecida pelo fabricante. Foi determinado apenas um inversor no sistema, pois esse modelo possui uma tecnologia bastante avançada e robusta, possuindo casos de falhas reduzidos e para esse caso há a presença de assistência técnica no país. Além disso, possui uma quantidade maior de entradas MPPT.

Tabela 5 – Dados do Inversor SG110CX.

Modelo	SG110CX
Fabricante	<i>Sungrow</i>
Potência de saída CA	110kVA a 45°C / 100 kVA a 50°C
Potência máxima de entrada	143kWp
Corrente de saída CA máxima	158,8A
Número de entradas MPPT	9
Eficiência máxima	98,7%
Dimensões (L/A/P)	1051/660/3625 mm
Peso	85kg

FONTE: Sungrow (2019)

5.2 Módulos

O fabricante das placas selecionado é a empresa canadense líder mundial em módulos fotovoltaicos, *Canadian solar*. Essa escolha se deve a garantia de confiança na fabricação que a empresa oferece, em consequência de possuir as certificações necessárias para atender as normas mundiais. O modelo de módulos escolhido é o HIKU de 400W, Figura 19, o qual é o primeiro módulo policristalino a exceder os 400W, atingindo uma das maiores potências de saída da indústria. (CANADIAN SOLAR, 2018)

Figura 19 – Módulos fotovoltaicos *Canadian Solar* HIKU CS3W – 400.



FONTE: Canadian Solar (2018)

O módulo escolhido possui 24% mais potência que os módulos convencionais, possuindo uma alta eficiência. A Tabela 6 apresenta os dados retirados da folha de dados do fabricante referentes ao módulo HIKU CS3W – 400.

Tabela 6 – Dados do Módulos fotovoltaicos *Canadian Solar* HIKU CS3W – 400.

Modelo	HIKU CS3W – 410
Fabricante	<i>Canadian Solar</i>
Potência nominal máxima	410W
Tipo da célula	Policristalina
Coeficiente de Temperatura	-0.37 % / °C
Eficiência do módulo	18,33%
Dimensões (L/A/P)	2108/1048/40 mm
Peso	24,9kg

FONTE: Canadian Solar (2018).

5.3 Determinação das Perdas do Sistema

As perdas relacionadas ao sistema fotovoltaico podem ser ocasionadas por fatores externos assim como durante a conversão da energia nos módulos e inversor. Os módulos fotovoltaicos por não operarem em locais onde a temperatura do ambiente dos ensaios em laboratório (condições ideais para funcionamento), o aumento da temperatura acaba por gerar perdas na potência. De acordo com as especificações do módulo escolhido, Tabela 6, a potência do gerador FV cai 0,37% a cada aumento de 1°C.

A presença de sombreamento causa a redução da produção de energia pois às células são conectadas em série. Dessa forma, a corrente, potência e geração serão limitadas ao módulo com menor incidência de radiação. Segundo Melo (2012), as perdas por sombreamento são consideradas em até 10%. Outro fator que prejudica o funcionamento das células é o acúmulo de poeira e outras sujidades, podendo causar pontos de aquecimento nos módulos fotovoltaicos. De acordo com Simioni (2017), o acúmulo de poeira provoca perdas médias de 4% ao ano.

De acordo com Almeida (2012), as perdas na fiação elétrica, correspondem a uma variação de 0,2% a 1,5%. Onde são considerados os conectores e condutores e suas perdas ôhmicas. Além disso, também determina que a perda por mismatching varia entre 0,5% a 2,5%. O mismatching representa o descasamento de módulos, por estes possuírem características diferentes.

Finalmente, também deve ser levado em consideração, para determinar a capacidade de geração, as perdas relacionadas a conversão de corrente contínua para alternada, ou seja, perdas do inversor. Considerando a eficiência do inversor a ser utilizado, Tabela 5, a perda estimada será de 1,3%. A Tabela 7 resume a consideração de perdas para o dimensionamento do sistema fotovoltaico em Mossoró.

Tabela 7 – Perdas consideradas no dimensionamento do sistema fotovoltaico.

Perdas	(%)
Temperatura	7%
Sombreamento	5%
Acúmulo de sujeira	4%
Fiação elétrica	1,5%
<i>Mismatching</i>	2%
Inversor	1,3%

FONTE: Autoria própria

5.4 Potência do Sistema

Utilizando os dados de HSP da cidade de Mossoró foi possível determinar a energia que um painel fotovoltaico fornecerá. Inicialmente foi definida qual a potência de pico real do sistema fotovoltaico (P_{peak}) para atender a média de consumo estimada, considerando as perdas calculadas, como demonstrado na Equação 5.

$$P_{peak} = \frac{\text{Média de Consumo diário (kWh/dia)}}{\text{HSP (kWh/m}^2\text{/dia)} \times (100\% - \text{Soma das Perdas})} \quad (5)$$

A Tabela 8 representa os fatores considerados para definir a potência real necessária para instaurar o sistema fotovoltaico.

Tabela 8 – Dimensionamento da potência do sistema fotovoltaico.

Meses	Consumo	HSP	Soma das Perdas	Dias	Potência Real (kW)
Jan	18000	4,69	20,8%	31	137,76
Fev	18000	4,95	20,8%	28	137,76
Mar	18000	5,01	20,8%	31	137,76
Abr	18000	5,06	20,8%	30	137,76
Mai	18000	5,57	20,8%	31	137,76
Jun	18000	5,33	20,8%	30	137,76
Jul	18000	5,73	20,8%	31	137,76
Ago	18000	6,35	20,8%	31	137,76
Set	18000	6,09	20,8%	30	137,76
Out	18000	5,96	20,8%	31	137,76
Nov	18000	5,52	20,8%	30	137,76
Dez	18000	4,97	20,8%	31	137,76

FONTE: Autoria própria

Utilizando os módulos de potência 410W, definidos no subtópico anterior, a potência definida para o sistema será de 137,76kW, composto por 336 unidades de módulos fotovoltaicos. A Tabela 9 mostra a geração mensal de energia estimada através da potência do sistema e os dados de HSP obtidos, considerando perdas de 20,8%.

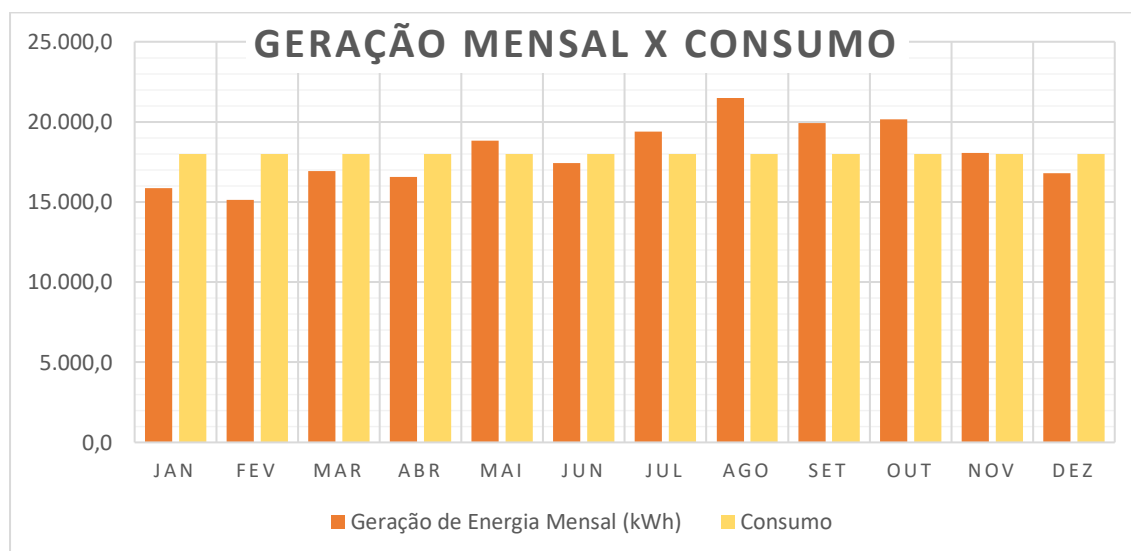
Tabela 9 - Geração de Energia Mensal.

Meses	Geração de Energia Mensal (kWh)
Jan	15.844,5
Fev	15.104,5
Mar	16.925,6
Abr	16.543,0
Mai	18.817,4
Jun	17.425,8
Jul	19.358,0
Ago	21.452,6
Set	19.910,5
Out	20.135,0
Nov	18.047,0
Dez	16.790,4

FONTE: Autoria própria

A Figura 20 expressa graficamente a estimativa da geração mensal relacionada ao consumo durante um ano. Dessa forma, é perceptível a necessidade do sistema de compensação de créditos de energia, pois há meses que o consumo é maior que a geração devido aos fatores climáticos. Então, os créditos remanescentes dos meses de maior geração ficarão válidos por 60 meses para serem utilizados quando necessário.

Figura 20 – Geração e consumo estimados durante doze meses.



FONTE: Autoria própria

5.5 Arranjo dos Painéis

O arranjo dos painéis fotovoltaicos deve ser construído através das características de tensão e corrente do inversor e dos módulos. Os painéis associados em série, formam *strings* que possuem sua tensão como resultado da soma da tensão de cada painel, o que também determina a tensão de trabalho do inversor. Dessa forma, a máxima tensão suportada pelo inversor deve ser maior que a tensão de circuito aberto da fileira de painéis.

Através da Equação 6, é possível obter a quantidade de painéis que podem ser associados em série ($N_{\text{série}}$) como sendo o valor inteiro da razão entre a tensão máxima do inversor e a tensão de circuito aberto dos painéis.

$$N_{\text{série}} = \frac{\text{tensão máxima inversor}}{\text{tensão de circuito aberto painel}} \quad (6)$$

As *strings* combinadas em paralelo formam arranjos solares, onde a soma das correntes de cada *string* resulta na corrente total. Dessa forma, através da Equação 7 é possível determinar a quantidade máxima de associações em paralelo, de forma que a corrente de curto-circuito do arranjo seja inferior à corrente de entrada máxima do inversor.

$$N_{\text{paralelo}} = \frac{\text{corrente de entrada máxima inversor}}{\text{corrente de curto – circuito painel}} \quad (7)$$

Através dos dados obtidos na folha de dados dos fabricantes do módulo e do inversor foi possível determinar a quantidade máxima de módulos em série e paralelo no sistema, como descrito na Tabela 10.

Tabela 10 – Número máximo de módulos em série e paralelo.

Tensão máxima do inversor	1100V
Tensão de circuito aberto do painel	47,6V
Número máximo de módulos em série	23
Corrente de entrada máxima do inversor	26A
Corrente de curto-circuito do painel	10,98A
Número máximo de módulos em paralelo	2

FONTE: Autoria própria

Além da quantidade máxima de módulos associados, é necessário verificar a compatibilidade dos arranjos definidos com a capacidade do inversor de rastreamento do ponto de máxima potência dos painéis (MPPT). Através dos dados fornecidos pelo fabricante Sungrow do inversor de 110kW, este possui 9 entradas MPPT. A partir da quantidade e disposição dos painéis fotovoltaicos é obtida a área necessária para a instalação do sistema, Tabela 11.

Tabela 11 – Área necessária para instalação do sistema fotovoltaico.

Largura Módulo (m)	1,048
Altura Módulo (m)	2,108
Área (m²)	2,209
Área total necessária (m²)	816,5
Inclinação (%)	20
Projeção da largura (m)	1,007
Projeção do comprimento (m)	2,027

FONTE: Autoria própria

5.6 Condutores e Proteção

Para a proteção e dimensionamento dos condutores de corrente contínua (CC) do microgerador solar fotovoltaico deve ser analisada a corrente máxima de entrada (CC) do inversor SG110CX, a qual possui valor de 30A. Portanto, serão utilizados condutores de 6mm² com capacidade de 41A para interligar os módulos ao inversor. A proteção CC é integrada aos inversores, assim como a proteção contra surtos, destinados à proteção contra efeitos de descargas atmosféricas.

A corrente nominal de saída (CA) do inversor SG110CX é 158,8A, para isso são utilizados condutores de 70mm² com capacidade de 222A para interligar o inversor às cargas. Para proteção CA é utilizado um disjuntor trifásico de 175A. E na proteção contra surtos são utilizados DPS tetrapolar 275V.

Além de todos os equipamentos descritos é instalado um seccionador, com função de desconexões manuais do sistema, para quando necessário.

6 ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA

Os custos iniciais para a implementação de um sistema de energia solar são bastante elevados. Assim sendo, o investidor necessita de uma garantia de segurança em seu desembolso e uma análise financeira positiva em relação ao retorno do seu investimento.

Após o dimensionamento do sistema fotovoltaico, foi necessário efetuar uma descrição detalhada dos componentes necessários em todas as etapas do investimento. Para a desempenhar o orçamento, foram realizadas pesquisas e cotações para estabelecer um valor com maior coerência. E assim, o estudo da viabilidade econômica se fundamentou na análise de alguns indicadores financeiros.

6.1 Custos Iniciais

Os custos iniciais com o projeto do sistema fotovoltaico foram determinados para serem utilizados como base em toda a análise de viabilidade financeira. Primeiramente foram determinados os custos com obras iniciais para iniciar a instalação do sistema. Dessa forma, foi realizado um levantamento de custo dentro da região, desde a compra do lote até adequações no terreno e segurança da instalação.

Ao orçamento também foi incluída a necessidade de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) e de uma subestação (SE) de 112kVA. Por fim foram considerados custos de instalação, projeto, suportes, proteção, cabeamento e manutenção como proporcionais ao número de painéis instalados. O orçamento dos custos iniciais para o projeto encontra-se resumidos na Tabela 12.

Tabela 12 - Custo inicial do projeto.

Item		Quantidade	Valor
Obras iniciais			
1	Lote	1	R\$ 25.000,00
2	Adequação do Terreno e Adição de britas	1	R\$ 4.200,00
3	Muro e abrigo do Inversor	1	R\$ 5.500,00
4	Câmeras de Segurança e Cerca Elétrica	1	R\$ 2.000,00
5	SPDA	1	R\$ 10.000,00
Equipamentos			
6	Inversor Sungrow 110KW	1	R\$ 29.107,94
7	Módulo Canadian HIKU 410W	336	R\$ 207.987,36
Materiais			
8	Estrutura de fixação	1	R\$ 20.000,00
9	Infraestrutura elétrica	1	R\$ 10.000,00
10	Estrutura de solo	1	R\$ 30.000,00
11	String Box	1	R\$ 1.300,00
12	Material elétrico	1	R\$ 15.000,00
Serviços			
13	Mão de obra pedreiro	1	R\$ 2.400,00
14	Material para Subestação 112,5kVA	1	R\$ 19.300,00
15	Serviços Subestação 112,5kVA	1	R\$ 8.000,00
16	Serviços relacionados ao sistema fotovoltaico	1	R\$ 40.000,00
Total			R\$ 429.795,30

FONTE: Autoria própria

Os itens da Tabela 12 referentes a obras iniciais, englobam custos necessários para o início da instalação do sistema. Além da aquisição do terreno para construção da usina fotovoltaico de solo, este deve ser adequado com limpeza, terraplanagem e adição de britas de granulometria baixa, em torno de 19mm, para a redução da abrasão do solo superficialmente e melhorar o isolamento. O inversor, apesar de possuir grau de proteção alto, deve estar localizado em local abrigado para garantir o prolongamento de sua vida útil. Em detrimento disso, há a necessidade da construção de um abrigo, possuindo ventilação e espaço necessário para realizar manutenções futuras.

O projeto do sistema fotovoltaico em questão, necessita obrigatoriamente de uma subestação de 112,5 kVA. No orçamento foram inclusos materiais para a instalação, como: transformador trifásico de 112,5kVA, estrutura de pré-moldado, poste de concreto, cruzeta, chave fusível, conector estribo e demais materiais elétricos utilizados. Além disso, o item 15 da Tabela 12 representa os custos referentes aos seguintes serviços relacionados a SE de 112,5kVA: projeto, instalação, montagem e ligação de linha viva.

A subestação de 112,5kVA a ser instalada torna necessária a instalação de um SPDA, sendo utilizado o método de Faraday para a proteção, o qual envolve toda a estrutura por malhas e cabos de descida que serão aterrados. Os custos com SPDA compreendem aos custos com materiais (cabo de cobre nú, haste de aterramento, caixa de inspeção, caixa de equalização, conectores), projeto e execução.

6.2 Variação Tarifária

O estudo da viabilidade financeira necessita da consideração da variação tarifária ao longo dos anos, para esse projeto foi utilizado como base uma tarifa de R\$ 0,65 / kWh. Pois, de acordo com a COSERN (2019), o preço atual da energia para o subgrupo B1, composto por unidades consumidoras residencial com o consumo acima de 300kWh/mês, encontra-se entre 0,6 e 0,75 R\$/kWh.

A variação no preço da energia torna-se necessário prever a tarifa para os próximos 25 anos. Os estudos realizados por Nakabayashi (2015) mostram a evolução tarifária ao decorrer dos anos, mostrando que para a classe residencial a tarifa tende a crescer anualmente em torno de 9% a 10,3%.

Dessa forma foi realizada uma análise realista da energia, considerando além do aumento tarifário o decaimento da geração de energia pelo sistema fotovoltaico - Tabela 13. Para esse ajuste na geração foi utilizada uma taxa de 0,8%, de acordo com a garantia de 25 anos, possuindo até 80% da eficiência, dada pelo fabricante. Além disso, foi possível verificar quantos consumidores será possível atender, com o perfil de consumo adotado de 450kWh, de acordo com o decaimento na geração de cada ano.

Tabela 13 – Análise tarifária ao longo de 25 anos.

Ano	Geração (kWh)	Tarifa (R\$/kWh)	Custo da Geração	Consumidores atendidos
1	216.606	R\$0,65	R\$140.793,77	40
2	214.873	R\$0,71	R\$152.237,49	40
3	213.154	R\$0,77	R\$164.611,35	39
4	211.449	R\$0,84	R\$177.990,96	39
5	209.757	R\$0,92	R\$192.458,07	39
6	208.079	R\$1,00	R\$208.101,06	39
7	206.414	R\$1,09	R\$225.015,51	38
8	204.763	R\$1,19	R\$243.304,77	38
9	203.125	R\$1,30	R\$263.080,59	38
10	201.500	R\$1,41	R\$284.463,78	37
11	199.888	R\$1,54	R\$307.584,99	37
12	198.289	R\$1,68	R\$332.585,50	37
13	196.703	R\$1,83	R\$359.618,05	36
14	195.129	R\$1,99	R\$388.847,80	36
15	193.568	R\$2,17	R\$420.453,35	36
16	192.019	R\$2,37	R\$454.627,80	36
17	190.483	R\$2,58	R\$491.579,95	35
18	188.959	R\$2,81	R\$531.535,57	35
19	187.448	R\$3,07	R\$574.738,78	35
20	185.948	R\$3,34	R\$621.453,55	34
21	184.461	R\$3,64	R\$671.965,29	34
22	182.985	R\$3,97	R\$726.582,63	34
23	181.521	R\$4,33	R\$785.639,27	34
24	180.069	R\$4,72	R\$849.496,03	33
25	178.628	R\$5,14	R\$918.543,06	33

FONTE: Autoria própria

6.3 Definição de Custos

Os custos iniciais necessários para o investimento em geração de energia solar compartilhada são direcionados ao investidor. Dessa forma, para definir e discriminar as despesas de forma a contribuir com o cálculo de projeção da receita, foi realizada relação de custo por metro quadrado – Tabela 14.

Tabela 14 – Custo inicial por m² do sistema fotovoltaico.

Área de instalação	816,5 m ²
Investimento inicial	R\$ 429.795,30
Custo inicial por m²	R\$526,39/m ²
Custo inicial por kWp	R\$ 3.119,88

FONTE: Autoria própria

Outro parâmetro importante para a análise econômica é a geração média por m² - Tabela 15, a qual representa a capacidade que os participantes do consórcio de energia solar possuirão de acordo com sua porcentagem de investimento, em detrimento da compra de uma determinada área do projeto.

Tabela 15 – Geração média em kWh por m².

Geração média mensal	18.050,5 kWh
Área de instalação	816,5 m ²
Geração por m²	22,11 kWh/m ²

FONTE: Autoria própria

6.4 Projeção do Fluxo de Caixa

A lucratividade do investimento em questão decorrerá de aluguéis de cotas de energia onde os interessados poderão reduzir uma porcentagem dos seus custos com energia elétrica atuais. Assim, a Tabela 16 o custo energia estimado pago pelo consumidor, por 450kWh, ao longo dos anos através da consideração do ajuste da tarifa de energia. Através disso, foi também foi descrito a estimativa do preço cobrado pelo aluguel das cotas de energia em três cenários diferentes a serem analisados, cada um possui uma porcentagem de economia distinta para o cliente com o intuito que ao final do estudo seja escolhida a que melhor se adapta ao projeto.

Tabela 16 – Preço de aluguel.

Ano	Custo de energia (450kWh)	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
		Economia de 30%	Economia de 40%	Economia de 50%
1	R\$292,50	R\$204,75	R\$175,50	R\$146,25
2	R\$318,83	R\$223,18	R\$191,30	R\$159,41
3	R\$347,52	R\$243,26	R\$208,51	R\$173,76
4	R\$378,80	R\$265,16	R\$227,28	R\$189,40
5	R\$412,89	R\$289,02	R\$247,73	R\$206,44
6	R\$450,05	R\$315,03	R\$270,03	R\$225,02
7	R\$490,55	R\$343,39	R\$294,33	R\$245,28
8	R\$534,70	R\$374,29	R\$320,82	R\$267,35
9	R\$582,82	R\$407,98	R\$349,69	R\$291,41
10	R\$635,28	R\$444,70	R\$381,17	R\$317,64
11	R\$692,45	R\$484,72	R\$415,47	R\$346,23
12	R\$754,77	R\$528,34	R\$452,86	R\$377,39
13	R\$822,70	R\$575,89	R\$493,62	R\$411,35
14	R\$896,75	R\$627,72	R\$538,05	R\$448,37
15	R\$977,46	R\$684,22	R\$586,47	R\$488,73
16	R\$1.065,43	R\$745,80	R\$639,26	R\$532,71
17	R\$1.161,31	R\$812,92	R\$696,79	R\$580,66
18	R\$1.265,83	R\$886,08	R\$759,50	R\$632,92
19	R\$1.379,76	R\$965,83	R\$827,85	R\$689,88
20	R\$1.503,94	R\$1.052,76	R\$902,36	R\$751,97
21	R\$1.639,29	R\$1.147,50	R\$983,57	R\$819,65
22	R\$1.786,83	R\$1.250,78	R\$1.072,10	R\$893,41
23	R\$1.947,64	R\$1.363,35	R\$1.168,58	R\$973,82
24	R\$2.122,93	R\$1.486,05	R\$1.273,76	R\$1.061,46
25	R\$2.313,99	R\$1.619,79	R\$1.388,40	R\$1.157,00

FONTE: Autoria própria

De acordo com França (2019), a projeção do fluxo de caixa determina a capacidade do projeto de remuneração ao investidor, visto que auxilia na definição da taxa de retorno do recurso próprio alocado ao projeto. À vista disso, a análise financeira em estudo será constituída da previsão do fluxo de caixa avaliada de acordo com a definição da taxa de

desconto. Inicialmente, devem ser considerados os custos a longo prazo – Tabela 17, pois estes determinam as despesas anuais do projeto.

Tabela 17 – Custos a longo prazo.

Descrição	Frequência	Custo
Manutenção sistema	Por ano	R\$4.000,00
Troca do inversor	Após 13 anos	R\$30.300,00
Custos operacionais	Por ano	R\$12.000,00

FONTE: Autoria própria

A viabilidade econômica e financeira do projeto de geração compartilhada será avaliada considerando um período de 25 anos, em razão da expectativa de vida útil e durabilidade dos painéis solares da *Canadian Solar*. Este fabricante garante uma perda de eficiência bastante reduzida, onde em 25 anos sua potência pode ser reduzida a até 80% da capacidade inicial. Já os inversores possuem uma vida útil média de 13 anos, no qual será considerado o custo de troca dos mesmos.

A análise financeira através do índice de preços para o consumidor amplo (IPCA) torna-se crucial na precificação de um investimento, pois através dele é feita a correção de determinadas aplicações financeiras. De acordo com o IBGE (2019), o IPCA acumulado nos últimos 12 meses compreendeu ao percentual de 4,31%. Sendo o IPCA um instrumento utilizado para medir a variação de preços, consequentemente este afetará a rentabilidade da aplicação.

Por fim, foram considerados nas despesas os valores referentes as manutenções anuais ajustadas por uma taxa de desconto, determinada pela projeção do IPCA junto à inflação, definida como 8% por ano. Os custos operacionais compreendem estimativa de gastos administrativos e possíveis custos não previsíveis. Com isso, foram definidas as despesas e receitas anuais - Tabela 18.

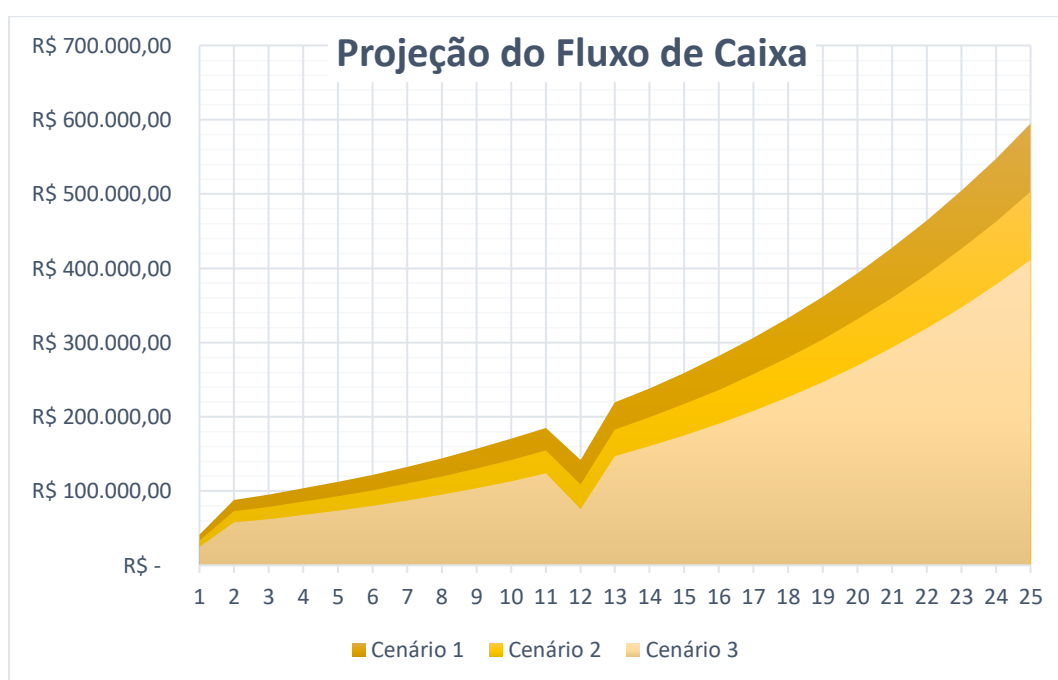
Tabela 18 – Receitas e despesas.

Ano	Despesas	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
		Receitas	Receitas	Receitas
0	R\$ 429.795,30	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1	R\$ 17.280,00	R\$ 58.968,00	R\$ 50.544,00	R\$ 42.120,00
2	R\$ 18.560,00	R\$ 106.566,24	R\$ 91.342,49	R\$ 76.118,74
3	R\$ 19.840,00	R\$ 115.227,95	R\$ 98.766,81	R\$ 82.305,68
4	R\$ 21.120,00	R\$ 124.593,67	R\$ 106.794,58	R\$ 88.995,48
5	R\$ 22.400,00	R\$ 134.720,65	R\$ 115.474,84	R\$ 96.229,03
6	R\$ 23.680,00	R\$ 145.670,74	R\$ 124.860,64	R\$ 104.050,53
7	R\$ 24.960,00	R\$ 157.510,86	R\$ 135.009,31	R\$ 112.507,76
8	R\$ 26.240,00	R\$ 170.313,34	R\$ 145.982,86	R\$ 121.652,39
9	R\$ 27.520,00	R\$ 184.156,41	R\$ 157.848,35	R\$ 131.540,29
10	R\$ 28.800,00	R\$ 199.124,64	R\$ 170.678,27	R\$ 142.231,89
11	R\$ 30.080,00	R\$ 215.309,49	R\$ 184.551,00	R\$ 153.792,50
12	R\$ 32.640,00	R\$ 232.809,85	R\$ 199.551,30	R\$ 166.292,75
13	R\$ 32.640,00	R\$ 251.732,63	R\$ 215.770,83	R\$ 179.809,02
14	R\$ 33.920,00	R\$ 272.193,46	R\$ 233.308,68	R\$ 194.423,90
15	R\$ 35.200,00	R\$ 294.317,35	R\$ 252.272,01	R\$ 210.226,68
16	R\$ 36.480,00	R\$ 318.239,46	R\$ 272.776,68	R\$ 227.313,90
17	R\$ 37.760,00	R\$ 344.105,97	R\$ 294.947,97	R\$ 245.789,98
18	R\$ 39.040,00	R\$ 372.074,90	R\$ 318.921,34	R\$ 265.767,78
19	R\$ 40.320,00	R\$ 402.317,15	R\$ 344.843,27	R\$ 287.369,39
20	R\$ 41.600,00	R\$ 435.017,48	R\$ 372.872,13	R\$ 310.726,77
21	R\$ 42.880,00	R\$ 470.375,70	R\$ 403.179,18	R\$ 335.982,65
22	R\$ 44.160,00	R\$ 508.607,84	R\$ 435.949,58	R\$ 363.291,32
23	R\$ 45.440,00	R\$ 549.947,49	R\$ 471.383,56	R\$ 392.819,63
24	R\$ 46.720,00	R\$ 594.647,22	R\$ 509.697,62	R\$ 424.748,01
25	R\$ 48.000,00	R\$ 642.980,14	R\$ 551.125,84	R\$ 459.271,53

FONTE: Autoria própria

A projeção da receita se baseou na economia proveniente do aluguel das cotas de energia, onde foi estimado que no primeiro ano seriam alcançados 60% dos clientes definidos no perfil de consumo, 40 consumidores de médio porte, e no final do segundo ano teria sido alcançados o restante dos clientes, totalizando 100%. Além disso, foi considerado a perda da eficiência do sistema, considerando que a cada ano a depreciação da geração diminuirá a quantidade de consumidores atendidos, dados já apresentados na Tabela 14. A projeção de fluxo de caixa realizada, de acordo com essas informações de custos e receitas, está representada em gráfico na Figura 21 para cada cenário de análise proposto.

Figura 21 – Gráfico da projeção do fluxo de caixa.



FONTE: Autoria própria

6.5 Avaliação dos Indicadores Econômicos

Os cálculos que definirão a viabilidade do projeto se baseiam em alguns indicadores econômicos já descritos anteriormente, sendo esses: VPL (valor presente líquido), TIR (taxa interna de retorno), IL (índice de lucratividade), ROI e *payback* simples. Para esta análise será utilizada a taxa anual de desconto de 10%, que equivale à TMA. Dessa forma, o VPL, TIR e IL foram determinados através dos dados já conhecidos, que se encontram resumidos na Tabela 19.

Tabela 19 - Indicadores econômicos.

Indicador Econômico	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
VPL	R\$ 1.538.531,51	R\$ 1.281.251,93	R\$ 1.023.972,36
TIR	25,57%	22,45%	19,15%
IL	3,58	2,98	2,38
ROI	459,43%	379,51	299,59%
<i>Payback Simples</i>	5 anos e 6 meses	7 anos e 10 meses	10 anos e 2 meses

FONTE: Autoria própria

Os cenários 2 e 3, estudados na Tabela 19, possuem tempo de payback não atrativo para o investimento em questão, dessa forma estas conjunturas não seriam aceitas. Já no cenário 1, o investimento no projeto do sistema fotovoltaico para geração compartilhada seria aprovado, pois todos os indicadores econômicos possuíram seus critérios deferidos. Sendo assim, determinada como melhor alternativa a utilização do cenário 1, o qual obteve os melhores resultados para o retorno mais positivo do investimento. Cada indicador teve sua função nesta avaliação, elucidando questionamentos relacionados a viabilidade do investimento, o infográfico na Figura 22 apresenta resumidamente a análise de cada índice utilizado.

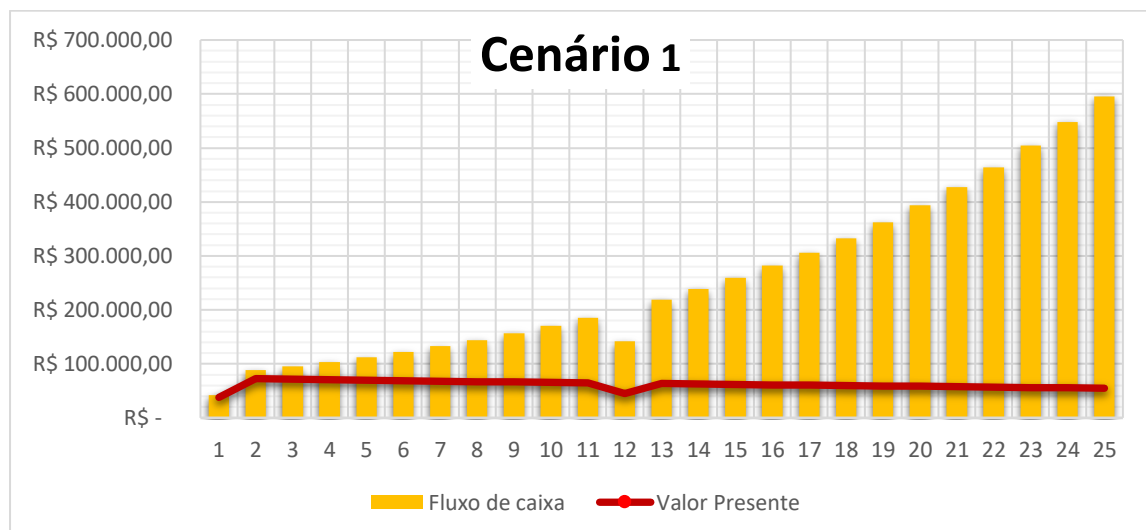
Figura 22 – Infográfico da análise econômico-financeira do cenário 1.



FONTE: Autoria própria

O custo de energia apresenta uma economia de 30% para os associados no cenário 1, considerando a tarifa inicial adotada como R\$0,65/kWh, os aluguéis da cota de energia serão comercializados com uma tarifa de valor R\$0,46/kWh. A Figura 23 representa graficamente o fluxo de caixa e o valor presente nesta situação.

Figura 23 – Fluxo de caixa e valor presente do cenário 1.



FONTE: Autoria própria

7 CONCLUSÃO

Em razão da necessidade de utilização de fontes de energia renováveis para combater a degradação ambiental produzida em excesso, a energia solar apresenta uma das melhores e mais limpas formas de geração. Ao passar dos anos, os sistemas fotovoltaicos se tornaram cada vez mais acessíveis no Brasil, possibilitando a economia de energia aos consumidores finais. Tudo isso, ocasionou a necessidade de realização de estudos que possibilitassem o desenvolvimento de soluções para oportunizar gradualmente esse investimento.

Consequentemente, a modalidade de geração compartilhada foi instituída para democratizar a utilização da energia fotovoltaica para aqueles que não possuem o espaço geográfico suficiente para instalação do sistema ou para quem deseja uma maior praticidade aliadas a bons custos. Outro ponto favorável ao investimento é a não necessidade de descapitalização do consumidor, pois este não necessita assumir os custos iniciais. O estudo analisou a viabilidade técnica e econômico-financeira da instalação de um sistema fotovoltaico de geração compartilhada para atender consumidores residenciais da cidade de Mossoró, no estado do Rio Grande do Norte.

Ao constatar as motivações da utilização da geração compartilhada foi estabelecido um perfil de consumo médio de 450,00kWh destinados a 40 pessoas. Onde cada uma realizará o aluguel de sua geração de energia correspondente a área em m². Ou seja, o cliente alugará uma parcela do espaço do sistema fotovoltaico e utilizará da energia gerada por ele para amortizar seu consumo. Para isso foi necessário um sistema de 137,76kWp, composto por 336 módulos de 410W de potência.

A Resolução Normativa nº 414 da Aneel (2010) define que para se enquadrar na Modalidade Tarifária B Optante, a potência nominal total dos transformadores deve ser igual ou inferior a 112,5 kVA. Por isso, foi determinada uma potência de 137,76kWp para o sistema, pois uma potência maior geraria custos referentes a demanda que necessitaria ser contratada, em consequência da unidade consumidora se tornar do grupo A.

Através da avaliação técnica foi possível concluir que a cidade de Mossoró possui uma alta incidência de radiação solar, podendo afirmar a viabilidade do projeto ao determinar a geração de energia estimada. Além disso, foram estabelecidas as associações entre os painéis em série e paralelo, a área necessária e todo o dimensionamento do projeto.

Para realizar a análise econômico-financeira foram utilizados indicadores econômicos, sendo estes: TMA, TIR, VPL, IL, payback e ROI. Assim, foi possível avaliar o retorno esperado do projeto, através da definição dos custos iniciais com terreno,

equipamentos do sistema, custos de instalação, subestação, SPDA, entre outros. Inicialmente, como a modelagem financeira se baseou em três cenários esses índices foram determinantes para a escolha da melhor alternativa para o investimento.

Os resultados da análise financeira mostraram que a implantação do projeto de um sistema fotovoltaico de geração compartilhada na cidade de Mossoró se apresentou viável, pois todos os indicadores econômicos obtiveram resultados positivos. Considerando uma taxa de desconto de 10%, em todos os casos o Valor Presente Líquido foi positivo, ou seja, mostra que a geração de energia anual alugada aos consumidores supera o valor do investimento. O valor de aluguel de cotas de energia para os interessados será correspondente a uma tarifa de R\$0,46/kWh, totalizando uma economia mensal de 30% nos custos com energia elétrica. O custo inicial de R\$ 429.795,30, no cenário escolhido, será retornado em 5 anos e 6 meses, possuindo um ROI de 459,43%. Além de um índice de lucratividade 3,58 e TIR de 25,57%.

O mercado de energia solar no Brasil, no momento de construção deste trabalho, encontra-se em instabilidade. Dessa forma, uma sugestão para estudos futuros seria a viabilidade econômica desse mesmo sistema considerando a possibilidade de aumento na tarifação por parte da agência nacional de energia elétrica (ANEEL).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Marcelo Pinho. **Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2012. 173 p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Energia) - Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/lsf/sites/default/files/Mestrado_Marcelo_Pinho_Almeida.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2019.

ALONSO, Rafael Herrero. **Posicionamento eficiente de módulos fotovoltaicos em plantas solares no ambiente urbano**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ANEEL– Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa N° 414/2010**. 2010, Brasília. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2019.

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa N° 482/2012**. 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2019.

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa n° 687/2015**. 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2019.

ASSAF NETO, A. **Matemática Financeira e suas Aplicações** – 9ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2007.

BARROSO, Mário Rubens Figueiredo. **Contas econômicas ambientais da energia no brasil e a energia solar fotovoltaica**. 2018. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

BRAGA, R. **Fundamentos e técnicas de administração financeira**. São Paulo: Atlas, 1995.

BRASIL. **Lei nº 6.404/76**, de 15 de dezembro de 1976. Brasília.

BRASIL. **Lei n. 10.406**, 10 de janeiro de 2002. Institui o Código Civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 jan. 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/110406.htm> . Acesso em: 12 dez. 2019.

BRASIL. **Lei nº 5.764/1971**, de 16 de dezembro de 1971. Brasília. :<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L5764.HTM> . Acesso em: 12 dez. 2019.

BRIGHAM, E. F. & EHRHARDT, M. C. **Administração financeira: teoria e prática**. 13ª. Edição. São Paulo: Thomson Learning, 2012.

CAMARGO, Renata Freitas de. **Taxa Mínima de Atratividade**. 2017. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/taxa-minima-de-atratividade-tma/>>. Acesso em: 13 dez. 2019.

CANADIAN SOLAR. **Datasheet HiDM CS1U**. 2018. Disponível em: <<https://canadiansolar.com/upload/9a321ef6b40b7e78/9d231c8a34747c62.pdf>>. Acesso em: 26 dez. 2019.

COOBER. **Cooperativa Brasileira de Energia Renovável**. 2017. Disponível em: <<https://www.coober.com.br/>>. Acesso em: 13 dez. 2019.

COSERN. **Tarifas Grupo B**. Disponível em: <<http://servicos.cosern.com.br/residencial-rural/Pages/Baixa%20Tens%C3%A3o/tarifas-grupo-b.aspx>>. Acesso em: 19 dez. 2019.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, CRESESB, 2004.

Enova Solar Energia LTDA. **Como estruturar um consórcio ou cooperativa?**, 2017. Disponível em: <<https://greener.com.br/wp-content/uploads/2017/04/ebook-cooperativaeconsortio.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2019.

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 19 dez. 2019.

EPE. **BEN: Balanço Energético Nacional. 2019.** Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2020.

FALCÃO, Marina Meyer. **ASPECTOS REGULATÓRIOS CONTRATOS EM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.** Disponível em: <<http://www.exposolarbrasil.com.br/ppt/MARINA%20MEYER%20FALC%C3%83O%20-%20KRAG%20BRASIL.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2019.

FONTES, Ruy. **Efeito Fotoelétrico e Efeito Fotovoltaico.** 2018. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/efeito-fotoeletrico-fotovoltaico/>>. Acesso em: 07 jan. 2020.

FONTES, Ruy. **O Guia Mais Absurdamente Completo da Energia Solar Fotovoltaica.** 2019. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-fotovoltaica-guia-supremo/>>. Acesso em: 04 jan. 2020.

FRANÇA, L.; SODRÉ, E. **Análise da Viabilidade Técnica e Econômica da Implantação de um Sistema Solar Fotovoltaico em um Hotel na Cidade de Surubim.** Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 4, n. 2, p. 58-64. 2019.

GOETZBERGERA et. al., **“Photovoltaic materials, history, status and outlook”** Materials Science and Engineering R 40 1–46, 2003.

GUIMARÃES, Carolina. **ROI: O que é e como calcular esse indicador financeiro?.** 2018. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/roi>>. Acesso em: 19 dez. 2019.

IBGE. **Área territorial brasileira.** 2018. Rio de Janeiro.

IBGE. **Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2019.** Rio de Janeiro.

IBGE. **Inflação.** Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php>>. 2019. Acesso em: 04 jan. 2020.

IEA. **Renewable capacity growth by country/region, 2018-2024**. 2019. Paris. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/renewable-capacity-growth-by-country-region-2018-2024>>. Acesso em: 28 dez. 2019.

INMET. **NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DO BRASIL. 2018**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 21 dez. 2019.

LIMA, Danilo de Brito. **Cooperativas de energia: guia de constituição de cooperativas de geração distribuída fotovoltaica**. 2018. Disponível em: <<https://www.somoscooperativismo.coop.br/publicacao/33/guia-de-constituicao-de-cooperativas-de-geracao-distribuida-fotovoltaica>>. Acesso em: 03 dez. 2019.

LIZOTE, Suzete Antonieta et al. **Análise de investimentos: um estudo aplicado em uma empresa do ramo alimentício**. SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, v. 11, p. 1-14, 2014.

MELO, Emerson Gonçalves de. **Geração solar fotovoltaica: estimativa do fator de sombreamento e irradiação em modelos tridimensionais de edificações**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MOTTA, R. R. et al. **Engenharia econômica e finanças**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

NAKABAYASHI, Renny. **MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO BRASIL: VIABILIDADE ECONÔMICA**. 2015. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/mifoto.pdf>>. Acesso em: 26 dez. 2019.

PERON, Marcio. **Semicondutores**. 2009. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/marcioperon/ufscar/pesquisa/semicondutores>>. Acesso em: 19 jan. 2020.

PORTAL SOLAR. **O Inversor Solar**. 2019. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/o-inversor-solar.html>>. Acesso em: 19 dez. 2020.

Prefeitura de Mossoró. **Geografia**. Disponível em: <<https://www.prefeiturademossoro.com.br/www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php>>. Acesso em: 19 dez. 2019.

PROCEL. **Dicas de Economia de Energia**. 2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D>>. Acesso em: 21 dez. 2019.

SILVA, G. T. M. M. DA. **Dimensionamento e análise de viabilidade econômica de usina fotovoltaica em Nova Iguaçu**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2015.

SIMIONI, Tássio. **O impacto da temperatura para o aproveitamento do potencial solar fotovoltaico do Brasil**. 2017. 222 p. Tese (Mestre em Planejamento Energético)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: . Acesso em: 26 dez. 2019.

SOUZA, João Paulo de. **Módulos Fotovoltaicos – Monocristalino ou Policristalino**. 2018. Disponível em: <<https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/modulos-fotovoltaicos--monocristalino-ou-policristalino---qual-a-melhor-dessas-duas-tecnologias-para-o-brasil>>. Acesso em: 04 jan. 2020.

SOUZA, Ronilson di. **Célula Fotovoltaica: O Guia Técnico Absolutamente Completo**. 2017. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/>>. Acesso em: 07 jan. 2020.

SUNGROW. **Datasheet SG110CX**. 2019. Disponível em: <https://sicessolar.com.br/PDF/Sungrow/InversoresTrifasicos/SG110CX/DS_20190121_SG110CX%20datasheet_V11_EN.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2019.

ZILLES, R. et al. “Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica”. São Paulo, SP: Oficinate Textos, 2012.