

A GERAÇÃO COMPARTILHADA COMO MODELO DE NEGÓCIO EMERGENTE: UM ESTUDO DE CASO

Gabriel Lima Siqueira¹

Prof. Dr. Olympio Cipriano da Silva Filho²

Resumo: O presente trabalho busca analisar um modelo de negócio emergente que surgiu a partir da Resolução Normativa 482 de 2012; a qual foi o pontapé inicial da geração própria de energia elétrica a partir de fontes renováveis e da criação do sistema de compensação de energia elétrica. Especificamente, o foco deste estudo é a modalidade de geração compartilhada criada por esta norma, essa que, aliada ao sistema de compensação de créditos de energia possibilitou a comercialização da energia gerada por uma usina. Além de explicar a possibilidade de um modelo de negócio emergente, também buscou-se exemplificar esse modelo de negócio a partir do dimensionamento e análise de viabilidade econômica de uma usina de investimento. O dimensionamento inicia a partir do faturamento desejado mensal, o que difere de outros modelos. Isso ocorre para facilitar a análise por parte dos investidores interessados que iniciariam a análise do investimento obtendo o valor necessário de CAPEX e OPEX associados a um faturamento desejado. Para tanto, foi criado uma planilha para fazer a análise de viabilidade econômica da usina a partir do faturamento desejado e automatizar os cálculos; para exemplificar, utilizou-se o faturamento desejado de R\$ 5.000,00 mensais, obtendo-se como resultado um investimento necessário de R\$ 118.360,01; um custo de operação anual de R\$ 2.775,00 e um *payback* de 2 anos passando a gerar lucro no terceiro ano.

Palavras-chave: Geração compartilhada; Usina de investimento; Viabilidade econômica.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o marco da geração própria de energia elétrica, através de fontes renováveis, deu-se a partir de resoluções normativas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A primeira acerca desse tema foi a Resolução Normativa nº482 de 2012 (REN 482/2012), a qual trouxe os conceitos iniciais; posteriormente foi atualizada pela Resolução Normativa nº687 de 2015 (REN 687/2015) estabelecendo conceitos e regras da Microgeração e da Minigeração Distribuídas de Energia Elétrica – MMGD, que trouxe a possibilidade do consumidor brasileiro de poder gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, e do Sistema de Compensação de Energia Elétrica – SCEE, o qual tornou possível fornecer o excedente de energia elétrica produzida para a rede de distribuição de sua localidade, para posterior compensação do consumo de energia verificado (ANEEL, 2012).

Segundo a ANEEL, na REN 687/2015, a microgeração distribuída é uma central geradora com potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW) e a minigeração distribuída é a central geradora com potência instalada maior que 75kW e menor ou igual a 5 megawatts (MW). Já o Sistema de Compensação de Energia Elétrica é o sistema no qual a energia ativa injetada por Unidade Consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa (REN 687/2015) (ANEEL, 2015). Mais recentemente houveram novas atualizações, a Resolução Normativa nº 1.059/2023, a qual promoveu adequações dos regulamentos da ANEEL às disposições da Lei nº 14.300/2022 e consolidou as disposições referentes à MMGD e ao SCEE nas condições gerais de fornecimento de energia presentes na Resolução Normativa nº 1000/2021 (ANEEL, 2024). As principais diferenças podem ser vistas na Tabela 1.

Dentre as modalidades de participação no Sistema de Compensação de Energia Elétrica – SCEE destaca-se no presente artigo a de geração compartilhada, caracterizada pela reunião de consumidores, por meio de consórcio, cooperativa, condomínio civil voluntário ou edilício, ou qualquer outra forma de associação civil instituída para esse fim, composta por pessoas físicas ou jurídicas que possuam unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída (REN ANEEL 1059/2023).

A modalidade de geração compartilhada tornou-se a solução para os consumidores que querem investir em fontes alternativas mas não possuem lugar adequado ou condições financeiras para tal; surgindo assim um novo modelo de negócio, predominando atualmente no Brasil aquele no qual o(s) investidor(es) e os consumidores não são as mesmas pessoas e o poder de decisão está centralizado, ou seja, um investidor vende energia elétrica.

¹ Discente

² Orientador

Esse modelo de negócio possui alta potencialidade de aplicação, principalmente para consumidores que não possuem condições de instalar geração distribuída em seu terreno, seja por limitações físicas (sem área disponível ou terreno sombreado), econômicas ou outras (OLIVEIRA, 2017).

O presente artigo tem como objetivo explicitar um modelo de negócio de geração compartilhada, encerrando dúvidas e trazendo esclarecimento de como funciona a comercialização da energia gerada e de como ocorre o funcionamento da usina do ponto de vista financeiro. Para tanto, foi feito o dimensionamento de uma usina solar de investimento para servir como exemplo; e o estudo de viabilidade financeira da mesma para servir como modelo aos interessados no assunto, assim como trazer atualizações e incrementos de conhecimentos para aqueles que já estão nessa área. Aliado a isso, busca-se ainda, partindo da premissa de viabilidade técnica e econômica, a criação de um projeto de dimensionamento de uma fazenda solar, termo utilizado para descrever uma usina fotovoltaica instalada em áreas rurais ou afastadas dos centros urbanos, partindo de um faturamento presumido. O objetivo é, além de trazer conhecimento e tirar dúvidas, inovar no modelo de cálculo para o dimensionamento, trazendo um processo inverso ao comumente utilizado; estipulando um intervalo de faturamento mensal de interesse, e a partir daí projetar a fazenda solar para tal.

Tabela 1 - Principais diferenças entre as Resoluções normativas da ANEEL para geração distribuída.

REN 482/2012	REN 687/2015	REN 1059/2023
Geração distribuída de energia elétrica (GD)	Microgeração e minigeração distribuída	Estabelece regras sobre a compensação de energia elétrica para consumidores com GD
Regula a micro e minigeração de energia elétrica, permitindo que consumidores instalem sistemas de geração distribuída.	Amplia e ajusta as regras da REN 482 para melhorar a viabilidade da GD.	Regula a compensação e a contabilização de energia elétrica gerada e consumida pelos consumidores com GD.
Estabelece a compensação de créditos de energia gerada para os consumidores	Ajusta e melhora a compensação de créditos, incluindo a possibilidade de compensação para mais de um imóvel	Reforça e detalha as regras de compensação de energia, incluindo a possibilidade de compensação entre unidades consumidora e geradora
Tarifa convencional com descontos ou compensação	Permite ajustes mais flexíveis na compensação de energia	Detalha regras sobre como a compensação de energia ocorre entre a distribuidora e os consumidores
O excedente de energia gerada pode ser compensado até 60 meses após o mês de geração	Permite mais flexibilidade na compensação e no prazo de validade dos créditos	Atualiza a regulação de excedentes e prazos para compensação de energia gerada.
Aplica-se a consumidores com geração própria de energia.	Ampliada para incluir novos aspectos e regras para a compensação de energia, mais adaptada à realidade do setor.	Focada em regulamentações mais detalhadas sobre como os créditos de energia são usados e como é feita a compensação no sistema.

Fonte: Autoria própria.

2.GERAÇÃO COMPARTILHADA

A geração compartilhada é uma modalidade do Sistema de compensação de energia elétrica - SCEE trazido pela Resolução Normativa 687 de 2015 como a modalidade onde diversos interessados podem se unir por meio de consórcio, cooperativa, condomínio civil voluntário ou edifício ou qualquer outra forma de associação civil, instituída para esse fim para instalar uma ou mais centrais de Microgeração ou de Minigeração Distribuídas de Energia Elétrica - MMGD e utilizar a energia gerada para compensação do consumo de todos os participantes. A partir da possibilidade aberta com esse regulamento e a criação dessa modalidade tornou-se possível a exploração de um novo modelo de negócio; no caso do Brasil, um modelo no qual os investidores não são os próprios consumidores, mas o investidor e o consumidor são pessoas diferentes. Com isso, abre-se a possibilidade da obtenção de um ganho financeiro a partir de investimentos em usinas solares com o intuito de comercializar a energia gerada, tendo como principais atrativos os preços competitivos com os das concessionárias de energia, economia com energia sem altos investimentos por parte dos consumidores e a

2.1.Fazendas solares

Desde que entrou em vigor a Resolução normativa Aneel 482 em 2012, que o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia a partir de fontes renováveis. Com essa regulamentação surgiu, além da possibilidade de geração para o próprio uso, a possibilidade de um modelo de negócio para comercialização de energia. Este modelo de negócio, mesmo após as atualizações trazidas pelas resoluções 687/2015, 1059/2023 e a lei 14300/2022, tem se expandido com certa lentidão; seja pela falta de clareza, de divulgação das possibilidades abertas com a criação do sistema de compensação de energia elétrica ou até mesmo por causa da insegurança jurídica, não sendo possível ainda alcançar todo seu público e potenciais investidores.

A fazenda solar é um termo utilizado para descrever uma usina fotovoltaica instalada geralmente em área rural ou em locais mais afastados dos centros urbanos. O termo surgiu quando alguns fazendeiros começaram a “cultivar” energia solar em suas terras para revender às distribuidoras. Atualmente, no Brasil não é possível vender a energia gerada em uma usina solar diretamente para a concessionária de energia, isto só é possível a partir de concessões via leilão, porém, para que seja possível a implementação de um modelo de negócio que funcione de forma similar à venda de energia para os consumidores finais, os proprietários das fazendas solares utilizam as regras dispostas na regulamentação da geração distribuída, especificamente as regras vigentes para a modalidade geração compartilhada (SCHUINA,2021). Dentre as regras, destacam-se a obrigatoriedade de reunião de consumidores por meio de consórcio ou cooperativa, possuir unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída e estarem dentro da mesma área de concessão (REN 1059/2023).

2.2. Modelo de negócio

Dentre os modelos de negócio possibilitados pela REN 482/2012 com a criação da Microgeração e da Minigeração Distribuídas de Energia Elétrica – MMDG e do Sistema de Compensação de Energia Elétrica – SCEE, no Brasil, segundo Souza (2020), quatro modelos de negócios possíveis: Turnkey (ou Aquisição), que se baseia na venda e instalação do equipamento pela empresa, que entrega o produto 100% operante ao cliente; Compra Coletiva, no qual a usina é vendida em “cotas”, sendo assim, o consumidor, o proprietário de uma fração da usina; Locação, a usina pertence a um terceiro que irá alugá-la, cedendo assim a posse ao consumidor; e Leasing, no qual a usina é alugada por período determinado com opção de compra no final do período por valor residual.. No caso, as fazendas solares estão incluídas no modelo de locação.

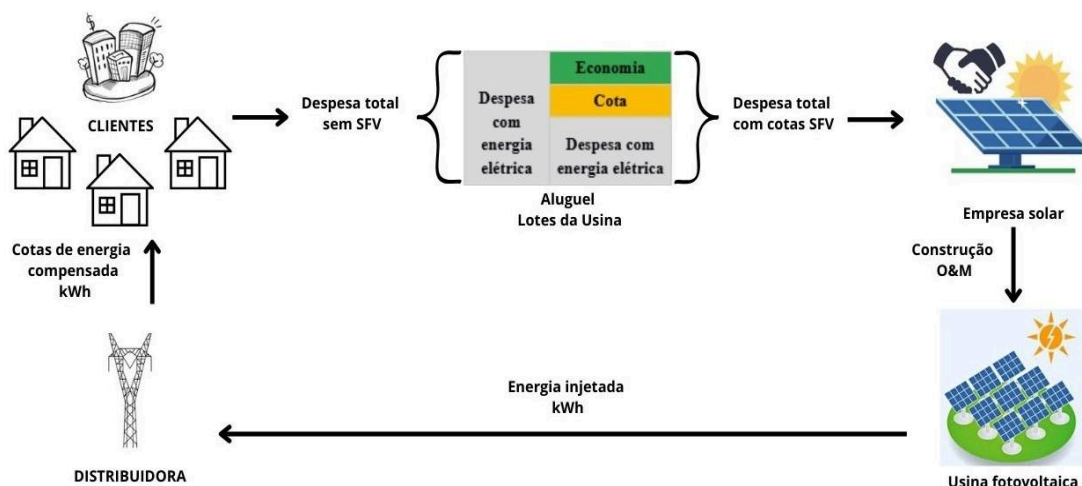
2.2.1. Modelo de negócio: locação

Nesse modelo, o cliente detém somente a posse do equipamento, que é propriedade de um terceiro. Uma empresa investe em um sistema fotovoltaico e oferece a instalação ao cliente, por meio de contratos de aluguel. Por assumir os custos iniciais, a empresa pode financiar a aquisição do sistema e captar recursos através de outros investidores, compartilhando os riscos (SOUZA,2020). De maneira direta, o proprietário da usina é uma figura centralizada que irá locar frações da usina para terceiros. Para que seja possível essa locação são necessários os contratos, no modelo de consórcios para com pessoas jurídicas e cooperativas para com pessoas físicas, que servem tanto para satisfazer a exigência da REN 1059/2023 quanto para a segurança de ambas as partes; já que estarão descritos os termos do negócio.

Os principais atrativos são a ausência de investimento, que é uma das grandes barreiras para a aquisição de sistemas fotovoltaicos, e a economia com os custos de energia, já que pagaria um valor de aluguel inferior ao custo de energia tradicional da concessionária; além de ser uma possibilidade para interessados que não possuem área para a instalação do sistema ou estão localizados em áreas sombreadas. Outro atrativo seria a previsibilidade dos valores pagos mensalmente, com descontos maiores atrelados a contratos maiores; quanto maior o tempo de contrato de locação, maior o desconto na tarifa. Em contrapartida, existem dificuldades atreladas a esse modelo, como por exemplo, os riscos com inadimplência e cancelamentos de contrato, as quais devem ser consideradas no momento da análise de viabilidade econômica do negócio.

Souza (2020) destaca que existem duas possibilidades de locação, sendo uma delas alugar um sistema fotovoltaico para um único cliente, grande consumidor comercial ou industrial de pequeno porte ou alugar cotas (ou lotes) de energia de uma usina solar. Esta segunda possibilidade é onde melhor se encaixa o termo fazenda solar, já que uma empresa em parceria com investidores constrói uma planta de maior escala (limitada a 5MW pela REN 482) e aluga frações dessa usina (lotes) para os clientes. A energia gerada é totalmente injetada na rede e compensada proporcionalmente aos consumidores que adquirirem os lotes (SCHUINA,2021).

Figura 1 - Fluxograma dos agentes envolvidos em uma usina de investimento.



Fonte: Autoria própria.

2.3. Regulamentação

O marco inicial das resoluções que deram oportunidade do consumidor brasileiro de gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, definida como Microgeração e Minigeração Distribuídas de Energia Elétrica – MMDG, foi a Resolução normativa 482/2012. Esta também trouxe o Sistema de Compensação de Energia Elétrica – SCEE, que é a possibilidade de fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade, para posterior compensação do consumo de energia verificado (ANEEL/2024). Posteriormente, com a REN 687/2015 e mais recentemente a REN 1059/2023 foram feitos aprimoramentos e adequações; surgindo a modalidade de geração compartilhada. Esta modalidade de geração compartilhada requer a reunião dos consumidores por meio de consórcio, cooperativa, condomínio civil voluntário ou edifício, ou qualquer outra forma de associação civil instituída para esse fim para que assim possam compartilhar da energia elétrica gerada pela usina. Tanto o consórcio quanto a cooperativa são formas de contratos que diferenciam-se pelos participantes, sendo o consórcio em especial para pessoas jurídicas e a cooperativa para pessoas físicas, não excluindo a possibilidade de participação de pessoas jurídicas desde que atendam a certos requisitos.

A cooperativa deve ser constituída por no mínimo 20 pessoas, estando sujeita à Lei nº 5.764/71 e ao Código Civil, para o compartilhamento da geração em kWh, em percentuais acordados por todos. Em casos específicos, é permitida a admissão de pessoas jurídicas na cooperativa, dentro dos critérios estabelecidos pelos parágrafos 2º do artigo 24 e 3º do artigo 29, da Lei nº 5.764/71. Já os consórcios são regulamentados pela Lei nº 6.404, de 15 de dezembro de 1976, e firmam um contrato entre pessoas jurídicas, com prazo e número de cotas definidas, que irão se beneficiar do compartilhamento de um sistema de geração. O consórcio formado torna-se o titular da unidade geradora e precisará ser inscrito no CNPJ, conforme art. 4º da Instrução Normativa da Receita Federal do Brasil nº 1.634/2016 (SOUZA,2020).

2.4. Benefícios

A proposta de valor está na possibilidade de geração de energia solar sem necessidade de investimento do cliente, pagando um valor de aluguel inferior ao custo de energia tradicional da concessionária. O valor do aluguel é determinado a partir da economia gerada para a locatária e do plano de assinatura (tempo de contratação), que pode ser mensal, semestral ou anual, proporcionando flexibilidade ao cliente. Quanto maior o tempo de contratação, maior é o desconto oferecido ao cliente (SOUZA,2020).

Esse modelo de negócio emergente propõe-se eliminar a barreira de alto investimento e as dificuldades burocráticas de instalação de um sistema. Entretanto, exige uma infraestrutura que engloba a parceria com bancos, investidores e equipe jurídica para elaboração e acompanhamento dos contratos, dada a longa relação necessária entre a empresa e o cliente e, principalmente, porque há a transferência de posse, mas não de propriedade do sistema fotovoltaico para o cliente, cabendo a devolução do sistema ao final do contrato. Outros pontos benéficos importantes são a tarifa fixa de energia, o que traz mais previsibilidade e organização financeira; e até mesmo flexibilidade, já que é uma possibilidade de entrada ao mercado livre de energia.

2.5. Desafios

Esse modelo de negócio emergente de fazenda solar, possível pela modalidade de geração compartilhada, assume riscos maiores já que a empresa deve fornecer as melhores soluções tecnológicas para satisfação do cliente e sua receita depende da adimplência dos mesmos, enquanto nos demais cabe apenas a venda dos equipamentos.

Como se trata de um produto tecnológico e de mercado regulado pelas resoluções da Aneel, esse modelo possui riscos comuns para o cliente e para a empresa. As mudanças regulatórias e tributárias podem impactar o desempenho financeiro de projetos de geração distribuída e, portanto, a sua atratividade. O incentivo para instalação de Microgeração e Minigeração Distribuídas de Energia Elétrica – MMGD está atrelado à forma de compensação de energia. Alterações na regulação, como na forma de remuneração da energia compensada, podem diminuir a atratividade do investimento no modelo de locação de lotes solares, que depende do sistema de compensação para creditar a energia a seus clientes.

Cabe-se destacar como desafios para a implementação desse modelo de negócio também a necessidade de bons fornecedores, tanto no momento do investimento quanto no pós-venda para ocasionais manutenções ou substituições de componentes da usina sem que se perca potencial de geração por longos períodos de tempo; equipe especializada para essas ocasionais manutenções; um software de gerenciamento para acompanhar os principais índices e componentes da usina; uma estrutura de venda e equipe jurídica para lidar com as questões contratuais e as próprias questões de financiamento para o investimento.

2.6. Clientes

O público alvo desse modelo de negócio, no caso de locação para um único cliente são o setor comercial, pequenas indústrias e grandes consumidores, visto que esse nicho de consumidores tem alto consumo e visam a otimização da sua economia com os gastos e melhoramento do fluxo de caixa, além de flexibilidade em seus contratos. Já no modelo que melhor se adequa ao termo fazenda solar, o público alvo é mais amplo, como imóveis alugados, consumidores que não dispõem de área para a instalação de um sistema fotovoltaico ou até mesmo moradores ou pequenas empresas que estão localizadas em locais sombreados. Outro prospecto são consumidores que não dispõem de investimento ou que não estão dispostos a investir.

Tabela 2 - Benefícios, desafios e possíveis clientes de uma usina de investimento.

Benefícios	Desafios	Clientes
Tarifa fixa de energia	Equipe especializada	Setor comercial e pequenas indústrias
Previsibilidade	Fornecedores	Grandes consumidores de energia
Economia dos custos com energia	Software de gerenciamento	Imóveis alugados
Flexibilidade	Estrutura para venda	Consumidores sem áreas disponíveis
Sem necessidade de investimento	Apoio jurídico para os Contratos	

Fonte: Autoria própria.

2.7. Impacto social e econômico

A modalidade de geração compartilhada possibilitou diversos impactos à sociedade; destacando-se os sociais, com a possibilidade de um público que não possui condição financeira para investir em um sistema de geração de energia ter acesso a essa energia limpa e, atrelado a isso, benefícios econômicos com a possibilidade de acesso a uma energia com tarifas menores em relação ao preço cobrado pelas concessionárias. Ainda é possível destacar benefícios ambientais.

Dentre os impactos causados às distribuidoras, SOUZA(2020) destaca que além da perda de faturamento, as distribuidoras necessitarão de mais investimentos para adequar a rede e manter a qualidade do suprimento. Portanto, haverá consequente aumento na tarifa de energia elétrica para os demais consumidores que não instalaram um sistema de geração. Dessa forma, existe um subsídio cruzado entre os consumidores e “produtores” da mesma distribuidora, pois os que não possuem um sistema de geração arcarão com os custos da rede daqueles que a utilizam apenas como backup para compensação da energia.

Essa queda de receita por causa do menor volume de energia vendido, associada ao aumento dos custos para a adequação e manutenção da rede, ocasiona aumento das tarifas durante a revisão tarifária, recaindo sobre os

consumidores que não possuem geração própria. Esse aumento pode provocar ainda mais a redução do consumo bem como incentivar a adoção da geração distribuída por novos usuários, alimentando o ciclo e desequilibrando o setor de distribuição de energia (SOUZA,2020).

2.8. Dimensionamento de uma fazenda solar

No dimensionamento de uma fazenda solar deve-se levar em consideração diversos fatores, como a área do terreno disponível, o custo do investimento, o limite imposto para o modelo através da regulamentação, dentre outras análises do ponto de vista econômico. No presente trabalho busca-se inovar nessa etapa, propondo um dimensionamento que parte da variável faturamento e tendo como possível variável secundária, o investimento. A viabilidade de um modelo de dimensionamento que tem como ponto de partida o faturamento é reforçada com a expansão das usinas de investimento e as recorrentes dúvidas e propagandas via internet associando faturamento mensal ao investimento necessário para obtê-lo.

2.8.1. Cálculo da potência a ser instalada

Partindo da premissa de um faturamento mensal desejado, o preço do kWh no Ceará é de R\$ 0,72 e há possibilidade de oferecer um desconto de 20% na comercialização da energia da usina, obtendo assim o preço do kWh após o desconto, de R\$ 0,58. Dividindo o faturamento desejado pelo preço que será comercializado o kWh temos quanto a usina tem que gerar mensalmente.

Através do atlas brasileiro de energia solar, obtém-se os índices de irradiação global horizontal para o estado do Ceará e os índices de irradiação no plano inclinado para o estado do Ceará em diferentes ID, que são os identificadores de um local específico. Como o terreno onde pretende-se instalar a usina solar está localizado no ID 55061, obteve-se os dados específicos do ID. A média do total diário da Irradiação Global Horizontal para o Estado do Ceará em (Wh/m².dia) anual obtido foi de 5984 Wh/m².dia; já a média do total diário da Irradiação no Plano Inclinado para o Estado do Ceará anual, especificamente no ID onde está localizado o terreno, é de 5986 Wh/m².dia.

Utilizando a equação 1 para o cálculo da potência da usina e o faturamento de R\$5.000,00 como exemplo, encontramos a potência de 60,2 kWp. O mesmo processo é feito para outros faturamentos, para tanto foi criada uma planilha para automatizar o cálculo.

$$P = \frac{E * G}{H * PR} \quad (1)$$

Onde:

E = Energia a ser gerada (kWh/dia)

G = Irradiância na condição STC (W/m²)

H = Irradiação solar incidente no plano dos módulos (kWh/m² /dia)

PR = Performance Ratio

2.8.2. Definição da tecnologia utilizada

Serão utilizados o painel solar Canadian 610W monocristalino Half-Cell bifacial - CS6.2-66TB e o Inversor/Gerador Solar On-Grid 15 KW Trif. 380V C/ Proteção e Monitoramento Wi-Fi CSI-15K-T400GL01-E – Canadian conforme a figura 2.

Figura 2 - Módulos e inversores utilizados no projeto.



Fonte: Minha casa solar com aprimoramento.

2.8.3. Dimensionamento técnico

A partir da potência dos módulos, inversores e a potência total desejada na usina é possível calcular a quantidade total de módulos necessários utilizando a equação 2. Ao utilizá-la encontrou-se a necessidade de 99 módulos.

$$N = E_{usina} / E_{módulo}(2)$$

Nos dados do fabricante do módulo solar, tem-se que a tensão de circuito aberto dos módulos é de 48 V. Considerando um fator de segurança de 10%, temos: 52,8 V.

Nos dados do fabricante do inversor, tem-se a máxima tensão de entrada de 1000 V, assim temos, ao dividir a máxima tensão de entrada do inversor pela tensão de circuito aberto dos módulos corrigida por um fator de segurança a possibilidade de colocar 18 módulos em série.

Como são necessários 99 módulos e podem ser colocados 18 módulos em série, calcula-se o número de strings, encontrando-se o valor de 6 strings.

Já para saber o número de inversores, utilizou-se a potência máxima de saída dada nos dados do fabricante, 16500W cada; como a potência total da usina é de 60,2 kW, temos 60,2 kW dividido por 16,5 kW, encontrando-se que há a necessidade de 4 inversores.

2.8.4. Cálculo da área da usina

Para o cálculo da área necessária precisa-se do valor da eficiência de um módulo solar específico. A informação é dada nos dados do fabricante e pode ser verificada através da equação 3. Ao utilizá-la encontrou-se o valor de 22,59%.

$$Eff = \frac{P_{máx}}{A * Rad}(3)$$

Onde:

η = Eficiência do módulo solar fotovoltaico

$P_{máx}$ = Potência máxima do módulo nas condições STC (W)

A = Área do módulo solar fotovoltaico (m^2)

Rad = Taxa de radiação solar padronizada em 1000 W/ m^2 em STC

Deste modo, concluiu-se que a eficiência do módulo solar fotovoltaico confere com a dada pelo fabricante, que foi de 22,6 %. De posse do valor da eficiência, pode-se utilizar a Equação 4 para o cálculo da área necessária. Ao substituir os valores encontrou-se uma área de 266,38 m^2 .

$$A = \left(\frac{P_{fv}}{Eff} \right) * 100 (4)$$

Onde:

A = área necessária para instalação dos módulos solares fotovoltaicos

P_{fv} = Potência total do painel fotovoltaico

Eff = Eficiência do módulo solar

2.8.5. Orientação e inclinação dos módulos

A orientação e a melhor inclinação para os módulos solares fotovoltaicos devem ser definidos de acordo com a localização da usina (Villalva, 2012). Em geral, a face dos módulos deve ser orientada ao norte geográfico para que se evite sombreamento e obtenha-se o maior rendimento possível, como está demonstrado na Figura 3.

Villalva (2012) recomenda que a instalação dos módulos solares não devem ser feitas com ângulos inferiores a 10° para que assim evite o acúmulo de poeira excessivo sobre os módulos. Como a usina será localizada na cidade de Fortim - CE, que possui latitude de aproximadamente 4° Sul, os módulos serão instalados com inclinação de 10°, de modo que privilegie uma boa produção média de energia ao longo de todo o ano, conforme a indicação da Tabela 3.

Tabela 3 - Latitude do local e o ângulo de inclinação indicado.

Latitude geográfica do local	Ângulo de inclinação recomendado
0° a 10°	10°
11° a 20°	latitude
21° a 30°	latitude + 5°
31° a 40°	latitude + 10°
41° ou mais	latitude + 15°

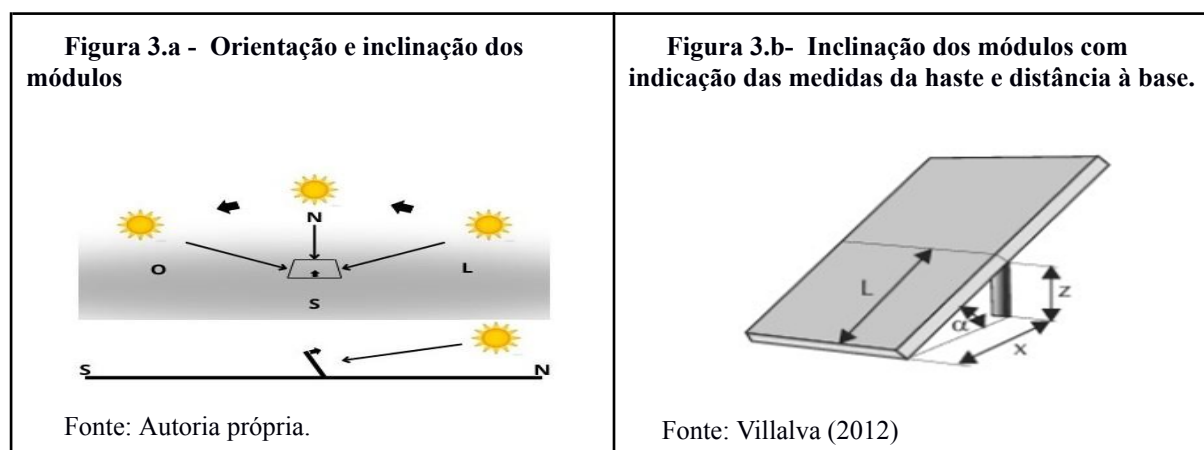
Fonte: Installation and safety manual of the Bosch Solar Modules (2019) com aprimoramento.

De posse da inclinação e utilizando relações trigonométricas, pode-se calcular a altura da haste de fixação (z) e a distância no chão entre a borda de apoio do módulo e a extremidade da haste de fixação (x). A partir das medidas dadas pelo fabricante é possível obter a distância entre a borda e o ponto de fixação (L). As medidas estão demonstradas na Figura 4.

$$\operatorname{sen} \alpha = \frac{z}{L} \quad (5)$$

$$\operatorname{cos} \alpha = \frac{x}{L} \quad (6)$$

Utilizando as relações trigonométricas 5 e 6 encontra-se facilmente a distância da borda do módulo até a haste de inclinação e o tamanho da haste. Portanto, para esse módulo será necessário um suporte de fixação com uma haste de 20 cm instalada a 1,17 m da borda de contato com a superfície.



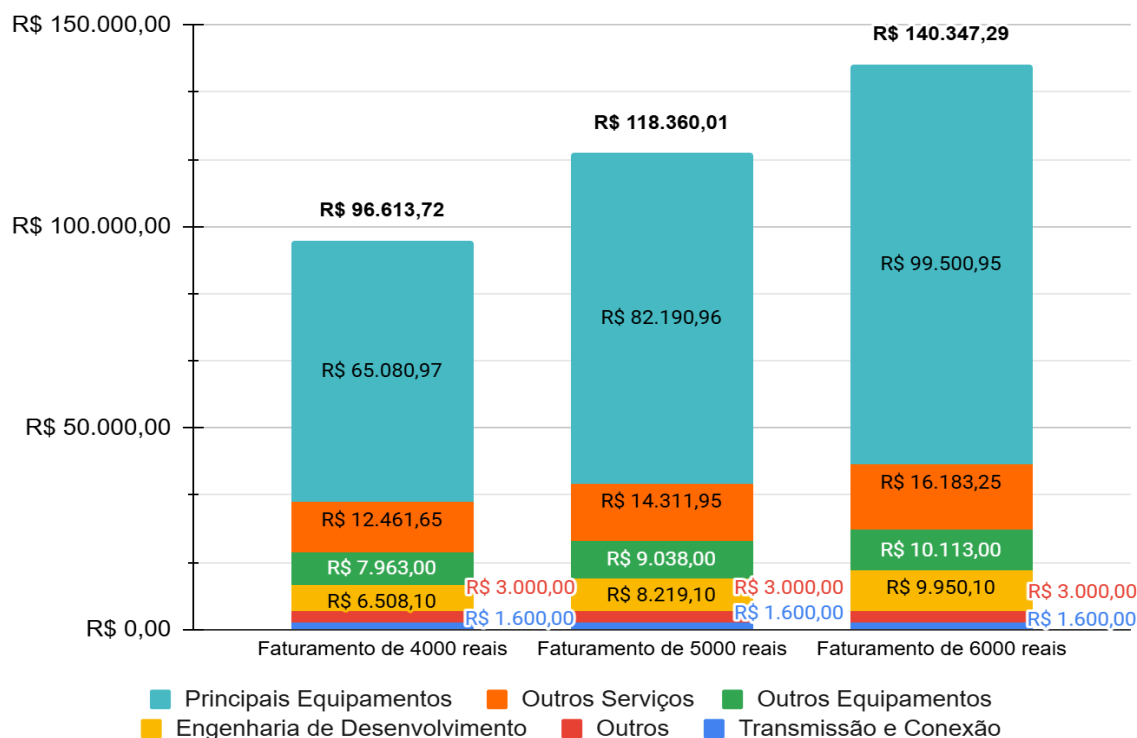
2.9. Viabilidade financeira

2.9.1. Cálculo do Capex

A sigla Capex vem do inglês *CAPital EXpenditure* e significa Despesas de Capitais ou Investimentos em Bens de Capitais. O CAPEX envolve todos os custos relacionados à aquisição de equipamentos e instalações de um projeto (Treasy, 2016). No caso do projeto de uma usina solar foram levados em consideração os custos de investimento em engenharia de desenvolvimento, equipamentos, serviços, transmissão, conexão e outras despesas locais, como por exemplo com viagens. No capital gasto com engenharia de desenvolvimento foram levados em conta as análises ambiental, geológica e topográfica, além do projeto executivo e engenharia do proprietário. Dentre os principais equipamentos estão os módulos fotovoltaicos, inversores e equipamentos de monitoramento, já entre os outros equipamentos estão as caixas de junção, cubículos, cabeamento, conectores, estruturas, sistemas de medição e limpeza, transformador e estação solarimétrica. Também foram considerados serviços de comissionamento, fretes e obra civil, montagem e ART. Na parte de transmissão e conexão foram considerados gastos com linhas de transmissão e padrão de entrada. E por último foram considerados outros gastos como as viagens e despesas locais. O resumo do investimento para o cenário de três faturamentos diferentes, por típico, está detalhado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - CAPEX para os faturamentos de R\$4.000,00, R\$5.000,00 e R\$ 6.000,00.

CAPEX para o faturamento de R\$ 4.000,00, R\$ 5.000,00 e R\$ 6.000,00.



Fonte: Autoria própria.

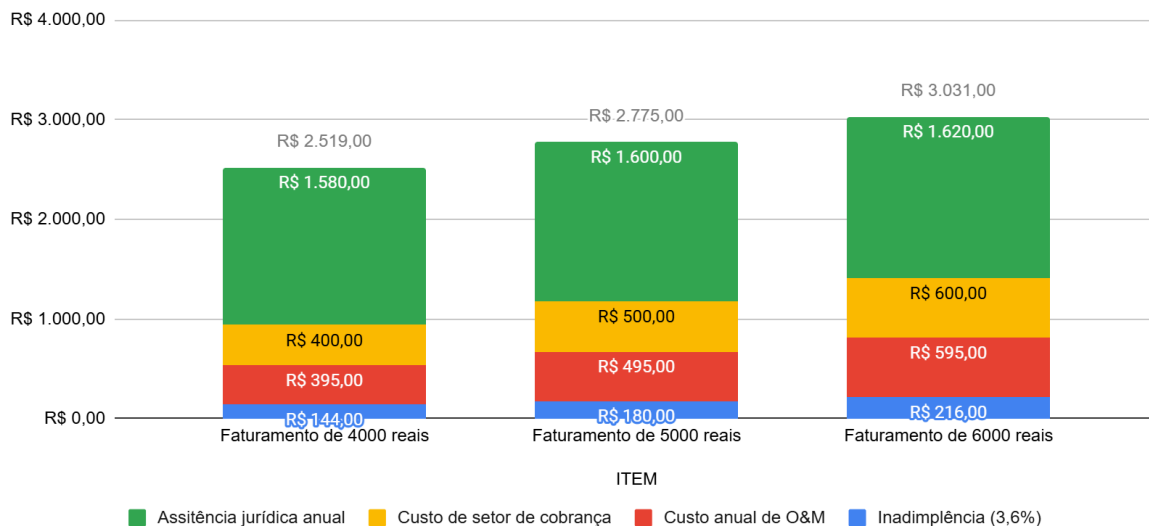
Considerando todos os gastos necessários para a construção da usina, chegou-se à estimativa de um investimento para os faturamentos de R\$4.000,00, R\$ 5.000,00 e R\$ 6.000,00, respectivamente, os valores de R\$ 96.613,72, ou R\$ 14,01 por kWp instalado, R\$118.360,01, ou R\$13,73 por kWp instalado e R\$ 140.347,29 ou R\$ 13,57 por kWp instalado.

2.9.1. Cálculo do Opex

Opex é a sigla em inglês para *operational expenditure*, que significa os valores de despesas operacionais. No caso da usina utilizou-se uma expectativa de 25 anos considerando o IPCA, índice de inflação utilizado no Brasil e levando em consideração gastos como os de operação e manutenção. Além dessas variáveis, foram considerados os custos com setor de cobrança, assistência jurídica e troca de inversores. Também foi levado em conta a possibilidade de inadimplência, nesse caso, foi utilizado para o cálculo o percentual de inadimplência para com as concessionárias de energia elétrica dado pela Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica, que é de 3,6%. Para o primeiro ano temos um OPEX de R\$2.519,00 para o faturamento de R\$4.000,00, R\$2.775,00 para o faturamento de R\$ 5.000,00 e R\$3.031,00 para o faturamento de R\$ 6.000,00, ajustados para os anos subsequentes pelo índice de inflação (IPCA). O resumo do custo de operação para o cenário de três faturamentos diferentes, por tópico, está detalhado no Gráfico 2.

Gráfico 2 - OPEX do primeiro ano para os faturamentos de R\$4.000,00, R\$5.000,00 e R\$ 6.000,00.

OPEX do primeiro ano para os faturamentos de R\$4.000,00, R\$ 5.000,00 e R\$ 6.000,00.



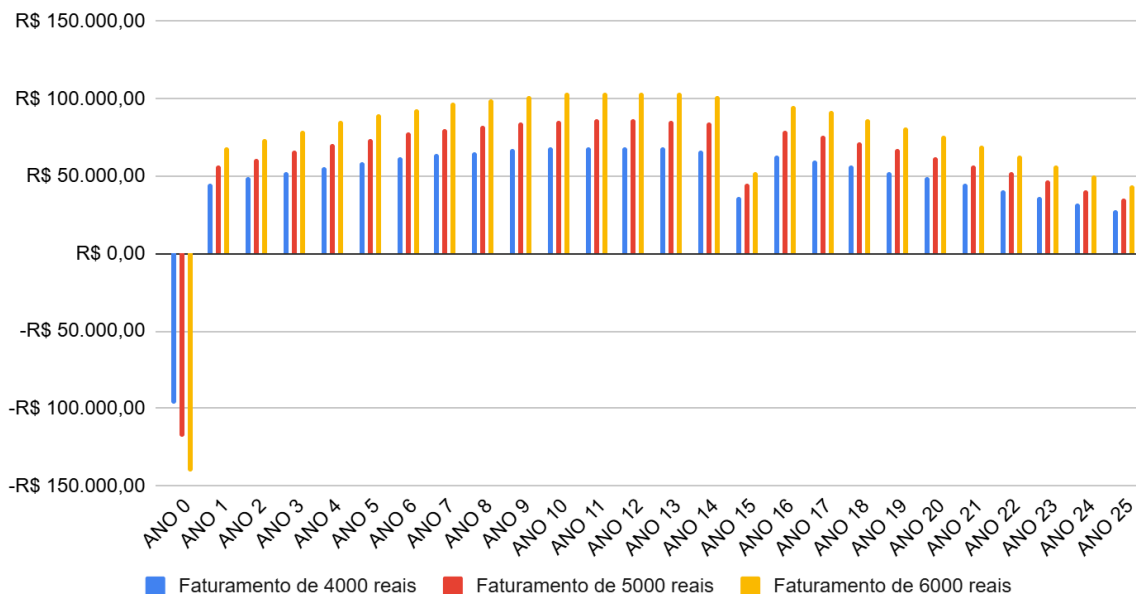
Fonte: Autoria própria.

2.9.2. Cálculo do Fluxo de Caixa

Para ter uma melhor visualização do retorno do investimento, foi feito o fluxo de caixa considerando os valores do Capex e do Opex. As variáveis consideradas foram a inflação energética de 10,68%, a queda de rendimento anual do sistema (módulos + inversores) que é de 2,5% no primeiro ano e 0,7% nos anos subsequentes, geração de energia anual, o valor da tarifa que será cobrada (tarifa da concessionária com desconto de 20%), que é de R\$ 0,58 no Ceará sendo reajustada anualmente pelo índice de inflação, receita bruta, investimento e gastos com operação e manutenção. A comparação do fluxo de caixa para os faturamentos de R\$4.000,00, R\$5.000,00 e R\$ 6.000,00 estão demonstradas no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Fluxo de caixa para o faturamento de R\$4.000,00, R\$5.000,00 e R\$6.000,00.

Fluxo de caixa para faturamentos de R\$4.000,00, R\$5.000,00 e R\$ 6.000,00.



Fonte: Autoria própria.

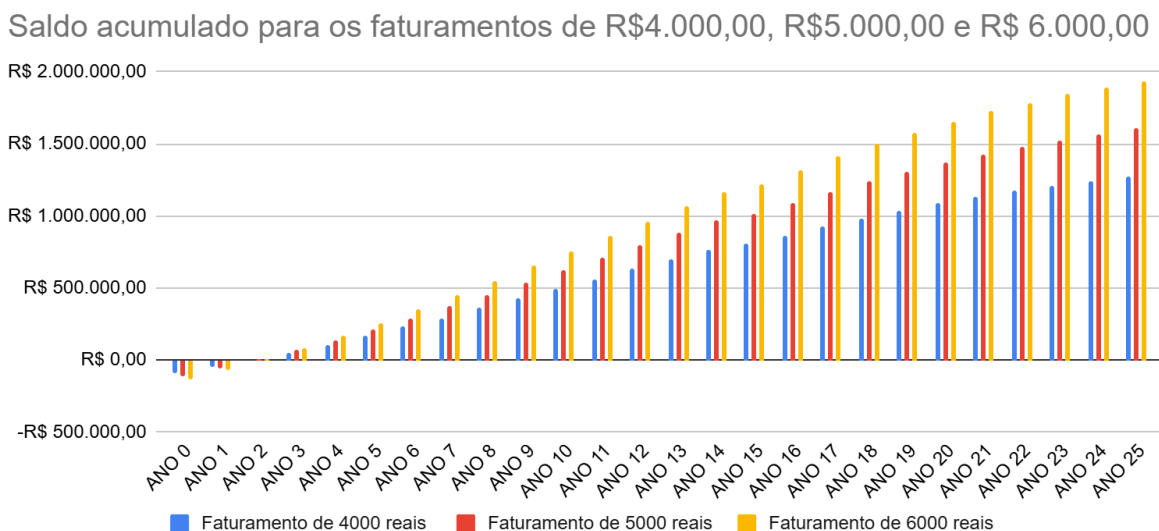
2.9.2.1. Payback

Payback é o período de tempo entre o investimento inicial e o momento em que o fluxo de caixa zera, ou

seja, inverte-se para valores positivos. O *payback* pode ser nominal, quando são utilizados os valores nominais do fluxo de caixa, ou presente líquido, quando os valores são atualizados para valor presente líquido. Em resumo, é o tempo necessário para recuperar o investimento feito e começar a obter lucro.

Analisando a tabela, observa-se que para o faturamento de R\$4.000,00 a partir do terceiro ano de funcionamento da usina começa-se a obter um fluxo de caixa positivo, ou seja, a usina torna-se lucrativa. Já para o faturamento de R\$5.000,00 e R\$6.000,00, já no segundo ano tem-se um lucro, porém irrisório se comparado ao desejado, podendo considerar o *payback* também no terceiro ano se considerado uma margem de erro. O momento do *payback* está demonstrado no gráfico 4 onde observa-se o saldo acumulado para os faturamentos de R\$4.000,00, R\$5.000,00 e R\$6.000,00.

Gráfico 4 - Saldo acumulado para o faturamento de R\$4.000,00, R\$5.000,00 e R\$ 6.000,00.



Fonte: Autoria própria.

2.9.2.2. Taxa mínima de atratividade

A taxa mínima de atratividade é o percentual mínimo que o investidor está disposto a ganhar. Sendo assim, uma ferramenta muito importante no momento de decidir entre diversos tipos de investimentos e uma das primeiras observações para a atratividade desse investimento. As principais taxas observadas no mercado brasileiro são Taxa Referencial, Taxa de juros de longo prazo e a SELIC (Sistema Especial de Liquidação e Custódia). No caso da usina, utiliza-se a Taxa Mínima de Atratividade de 12,00% a.a.

2.9.2.3. Valor presente líquido

É o método pelo qual se traz para a data atual todos os fluxos de caixa e soma ao valor inicial de investimento, usando como taxa de desconto a taxa mínima de atratividade definida. Com esse método é possível fazer ajustes e obter-se o verdadeiro valor do dinheiro no futuro, o que é importante nesse caso já que está sendo estimado em 25 anos.

Utilizando a fórmula que já calcula diretamente, disposta no excel, encontrou-se o valor presente líquido de R\$72.986,98 para o faturamento de R\$4.000,00, R\$92.221,18 para o faturamento de R\$5.000,00 e R\$111.441,17 para o faturamento de R\$6.000,00. Como todos os valores são positivos, demonstra-se que o investimento é viável; ou seja, as receitas trazidas para o tempo presente são maiores que as despesas.

2.9.2.4. Taxa interna de retorno

A taxa interna de retorno representa a taxa que deve ter quando o valor presente líquido, fluxo de caixa e retornos futuros são iguais a zero. Quando essa taxa é aplicada ao fluxo de caixa total, faz com que os valores de despesas, no valor presente, sejam iguais aos valores de retorno do investimento também trazidos ao valor presente. Essa taxa reflete a qualidade e atratividade do investimento, tendo grande influência na tomada de decisão.

Utilizando a fórmula de cálculo direto do excel, a taxa interna de retorno foi de 53% para o faturamento de R\$4.000,00, 55% para o faturamento de R\$5.000,00 e 55% para o faturamento de R\$6.000,00. Como esses valores estão acima da taxa mínima de atratividade, 12%, demonstra-se, atrelando aos outros índices, que o investimento é viável.

2.9.2.5. Custo nivelado de energia

O custo nivelado de energia é muito utilizado em projetos energéticos de fontes alternativas. Através dele é possível comparar o custo de geração de energia elétrica no ponto de conexão levando em consideração todos os custos de investimento, operação, manutenção e o custo do capital inicial.

Utilizando a Fórmula 7 e a Fórmula 8 no excel, encontrou-se o valor de R\$0,20 para o faturamento de R\$4.000,00 e R\$0,19 para o faturamento de R\$5.000,00, R\$0,18 para R\$6.000,00 de faturamento.

$$LCOE = \frac{It + Mt + Ft}{ET} (7)$$

$$It = \frac{I}{\frac{1}{t} - \frac{1}{2(1+t)^n}} (8)$$

Onde:

LCOE - Custo nivelado de energia

It - Custos de investimento no ano n

I - Investimento inicial

Mt - Custos de manutenção e operação no ano n

Ft - Custos com combustível no ano n (zero para solar fotovoltaico)

Et – Eletricidade produzida no ano n

t - Taxa de desconto

n – Número de anos do projeto

3. CONCLUSÕES

A partir do presente estudo foi possível atingir o objetivo de explicação e exemplificação do modelo de negócio emergente das usinas solares de investimento e concluir a viabilidade financeira de uma usina solar dimensionada a partir da proposição de um faturamento mensal de R\$4.000,00, R\$5.000,00 e R\$6.000,00. Procurou-se esclarecer de forma concisa, apesar de que mesmo sendo somente uma norma vigente para todo o território brasileiro, as questões atreladas a comercialização e análise econômica dependem diretamente das concessionárias de energia e dos estados onde as usinas serão instaladas. Outro fator altamente influente são os índices solarimétricos, pois apesar do Brasil conter excelentes índices no geral, existem variações entre os estados.

A usina foi dimensionada para o estado do Ceará, com irradiação solar incidente no plano dos módulos de 5,98 kWh/m²/dia, no caso do exemplo escolhido de R\$5.000,00 de faturamento encontrou-se a necessidade de potência instalada de 60,2 kW. Para essa potência, serão necessários 99 módulos de 610 W e 4 inversores de 15 kW. Para comportar essa usina serão necessários 478 m², valor calculado e somado a um percentual de erro.

Já no cálculo financeiro, será necessário um investimento inicial (capex) de R\$118.360,01 já inclusos os gastos com equipamentos, desenvolvimento e custos diversos. Já com operação e manutenção (opex) terão R\$2.775,00 de gastos anuais. Portanto, para o cálculo do fluxo de caixa, que leva em consideração o capex, opex, inflação e perda de rendimento dos módulos tem-se que o *payback* foi atingido no segundo ano de funcionamento começando a gerar lucro no terceiro ano. Observando novamente a partir da perspectiva do faturamento mensal, foi possível encontrar valores de fluxo de caixa anual acima do desejado a partir do *payback* até o vigésimo ano de funcionamento só ficando abaixo no décimo quinto ano, quando haveria a troca dos inversores. A partir dessa análise, fica claro que apesar da alta complexidade do projeto, ainda apresenta-se como um investimento viável ao longo dos vinte e cinco anos.

Conclui-se que uma usina solar de pequeno porte com o intuito de uma renda extra mensal é viável na região nordeste, visto que os altos índices solarimétricos da região são de fato um grande atrativo para investimento em usinas solares e tem grande impacto na viabilidade econômica do negócio; além de obter retorno financeiro também há o lucro ambiental atrelado a esse investimento, já que o mesmo contribui para o desenvolvimento sustentável.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. Resolução Normativa 482 de 17 de abril de 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>

ANEEL. Resolução Normativa 687 de 24 de novembro de 2015. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>

ANEEL. Resolução Normativa 1000 de 7 de dezembro de 2021. Disponível em:

<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>

ANEEL. Resolução Normativa 1059 de 7 de fevereiro de 2023. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html>

Ministério de Minas e Energia. Lei 14300 de 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/leis/lei-n-14-300-2022.pdf/view>

Oliveira, M. O. M., 2017. O cooperativismo na Geração Distribuída, Sistema OCB, 8º Seminário Energia + Limpa, Florianópolis – Santa Catarina, 2017.

Schuina, 2021. Estudo de viabilidade técnica e econômica de implementação de uma usina solar voltada para a locação de equipamentos como modelo de negócio de uma fazenda solar.

Souza, 2020. Modelos de negócio para micro e minigeração distribuída fotovoltaica no Brasil: características e impactos com a alteração da compensação de energia.

VILLALVA, Marcelo Gradella. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. 1. Ed. São Paulo. Editora Érica, 2012.

CAPEX e OPEX: entenda as principais diferenças e saiba o que levar em consideração na hora de escolher. Disponível em: <https://www.treasy.com.br/blog/capex-e-opex/>.