

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO

ALEXANDRE LUIGI CARUSO
ALEXANDRE PINHEIRO ARRADI

Proposta de Modelo de Negócio Social para Implementação de Energia Fotovoltaica
em Heliópolis - São Paulo

São Carlos

2024

Alexandre Luigi Caruso
Alexandre Pinheiro Arradi

Proposta de Modelo de Negócio Social para Implementação de Energia Fotovoltaica
em Heliópolis - São Paulo

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr Tadeu Malheiros.

São Carlos

2024

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues
Fontes da EESC/USP

C329p	<p>Caruso, Alexandre Luigi</p> <p>Proposta de modelo de negócio social para implementação de energia fotovoltaica em Heliópolis - São Paulo / Alexandre Luigi Caruso, Alexandre Pinheiro Arradi; orientador Tadeu Malheiros. -- São Carlos, 2024.</p> <p>Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com Ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2024.</p> <p>1. Ligações clandestinas de energia. 2. Energia fotovoltaica. 3. Modelo de negócios. 4. Negócios sociais. 5. Heliópolis. I. Título.</p>
-------	---

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Alexandre Luigi Caruso

Título: “Proposta de Modelo de Negócio Social para Implementação de Energia Fotovoltaica em Heliópolis - São Paulo”

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 19 de junho de 2024, com NOTA 9,7 (nove e sete décimos), pela Comissão Julgadora:

Prof. Associado Tadeu Fabricio Malheiros - Orientador - SHS/EESC/USP

Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino - SEL/EESC/USP

Profa. Dra. Lídia Moura - SHS/EESC/USP

**Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Professor Associado José Carlos de Melo Vieira Júnior**

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Alexandre Pinheiro Arradi

Título: “Proposta de Modelo de Negócio Social para Implementação de Energia Fotovoltaica em Heliópolis - São Paulo”

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 19 de junho de 2024, com NOTA 9,7 (nove e sete décimos), pela Comissão Julgadora:

Prof. Associado Tadeu Fabricio Malheiros - Orientador - SHS/EESC/USP

Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino - SEL/EESC/USP

Profa. Dra. Lídia Moura - SHS/EESC/USP

**Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Professor Associado José Carlos de Melo Vieira Júnior**

DEDICATÓRIA

*A todas as pessoas que fizeram parte da jornada
Universidade!*

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Professor Doutor Tadeu Malheiros por todo o apoio e conhecimento fornecidos durante o processo do trabalho de conclusão de curso.

A todos os professores, funcionários e membros da Universidade por contribuir na nossa formação durante todo esse tempo, muito obrigado.

Em nome de Alexandre Caruso,

À minha mãe Katty Caruso e ao meu pai José Antonio Caruso, por me incentivarem e me apoiarem durante toda a minha graduação.

À minha namorada Luiza Gonçalves, que esteve ao meu lado durante os momentos de conquistas e dificuldades desta jornada.

Ao meu amigo Alexandre Arradi, que dividiu esse desafio comigo e nos proporcionou uma experiência inesquecível

Ao meu amigo Álvaro Costa Júnior, por sempre nos apoiar no projeto e esclarecer as dúvidas que surgiram ao longo do trabalho

Aos meus colegas da graduação do ano de 2021, pelos momentos de descontração e pelos estudos que contribuíram para a minha formação.

Em nome de Alexandre Arradi,

Gostaria de expressar toda minha gratidão aos meus pais, Wesley Arradi e Vanusa Arradi por todo o suporte e carinho transmitido por toda minha vida.

À todos os amigos que fizeram parte dessa história, em especial à equipe de Handebol CAASO, à República Santa Casa e à Atlético CAASO, vocês tornaram o processo único e inesquecível durante esses anos.

Aos meus amigos Marolde, Phelps, Ju, Búfalo, Espeto, GK, Cava e Kit por compartilharem comigo as experiências e desafios desta etapa, meus mais sinceros agradecimentos.

Ao Alexandre Caruso por topou o desafio deste trabalho e por toda parceria e confiança durante toda a faculdade!

RESUMO

CARUSO, A. L. & ARRADI, A. P. “**Proposta de Modelo de Negócio Social para Implementação de Energia Fotovoltaica em Heliópolis - São Paulo**”. 2024. 198 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2024

Ligações clandestinas de energia podem gerar inúmeras consequências negativas como sobrecargas, incêndios e perdas para as concessionárias de energia - afetando diretamente a qualidade de vida de comunidades. Elas ocorrem devido a população, que deseja acesso à energia, não possuir condições financeiras para pagar por essa. Assim, uma maneira de minimizar a existência daquelas é oferecendo energia renovável. Inspirado na Favela Marte de São José do Rio Preto, que oferece energia fotovoltaica por meio do autoconsumo local de maneira gratuita, este trabalho tem como objetivo propor um modelo de negócio social que seja financeiramente viável para instalação de energia solar na comunidade de Heliópolis, SP. Para isso, o trabalho demonstra uma revisão bibliográfica do tema, agregando na elaboração de simulação de três diferentes cenários de um projeto de energia fotovoltaica por dois diferentes métodos: autoconsumo local e geração compartilhada de energia - para painéis de 330W e 580W, assim como o estudo financeiro da viabilidade na relação custos x benefício de cada um deles. Por fim, descreve-se o modelo de negócios social com base no molde de Petrini, Scherer e Back (2016). Para os três cenários propostos, o projeto é viável financeiramente, entretanto apresenta custos elevados, os quais devem ser arcados por investidores interessados nos benefícios sociais do negócio. Por mais que o projeto de autoconsumo local seja mais caro e apresente um *payback mais longo*, entende-se como o ideal devido a área útil para geração compartilhada ser insuficiente e por possuir normas regulatórias mais simplificadas, o que garante maior aceitação da comunidade.

Palavras-chave: ligações clandestinas de energia, energia fotovoltaica, modelo de negócios, negócios sociais, Heliópolis

ABSTRACT

CARUSO, A. L. & ARRADI, A. P. **“Proposal of a Social Business Model for the Implementation of Photovoltaic Energy in Heliópolis - São Paulo”**. 2024. 198 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2024

Clandestine energy connections can generate numerous negative consequences such as overloads, fires and losses for energy dealers - directly affecting the quality of life of communities. They occur because the population, which wants access to energy, does not have the financial conditions to pay for it. So one way to minimize their existence is by offering renewable energy. Inspired by the Favela Marte of São José do Rio Preto, which offers photovoltaic energy through local self-consumption free of charge, this work aims to propose a social business model that is financially viable for solar power installation in the community of Heliópolis, SP. To achieve this goal, the work demonstrates a bibliographic review of the topic, adding in the elaboration of simulation of three different scenarios of a photovoltaic energy project by two different methods: local self-consumption and shared generation of energy - for panels of 330W and 580W, as well as the financial study of the feasibility in the relationship costs x benefit of each of them. Finally, we describe the social business model based on the mold of Petrini, Scherer and Back (2016). For the three proposed scenarios, the project is financially viable, yet it presents high costs, which must be borne by investors interested in the social benefits of the business. As much as the local self-consumption project is more expensive and presents a longer payback, it is understood as the ideal because the useful area for shared generation is insufficient and because it has more simplified regulatory standards, which ensures higher acceptance by the community.

Keywords: clandestine energy connections, photovoltaic energy, business model, social business, Heliópolis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução percentual das perdas não técnicas de energia no Brasil e São Paulo

Figura 2 - Ligação Clandestina de Energia em São Paulo

Figura 3 - Mapa de Heliópolis

Figura 4 - Painel de consumo por UF e padrão de consumo das regiões brasileiras

Figura 5 - Áreas úteis dentro da comunidade para geração compartilhada

Figura 6 - Potencial de geração solar fotovoltaica em termos de rendimento energético anual para todo o Brasil, medido em kWh/kWp.ano no perfil de cores

Figura 7 - Sistema on-grid

Figura 8 - Irradiação solar de Heliópolis

Figura 9 - Sistema *off-grid* com armazenamento

Figura 10 - Sistema *off-grid* sem armazenamento

Figura 11 - Sistema híbrido

Figura 12 - Autoconsumo local em comunidade no Jardim Nakamura, São Paulo

Figura 13 - Autoconsumo remoto, ilustração

Figura 14 - Exemplo de geração compartilhada com uma fazenda solar

Figura 15 - EMUC em um condomínio da MRV Engenharia, Belo Horizonte

Figura 16 - Solicitações não atendidas para a pesquisa

Figura 17 - População residente de Heliópolis por setores

Figura 18 - Média de moradores por domicílio em Heliópolis

Figura 19 - *Business Model Canvas*

Figura 20 - *Modelo de negócios com impacto social*

Figura 21 - *Benefícios Sociais Gerados a partir de Iniciativas de Impacto Social*

Figura 22 - *Preço Médio Anual (R\$/MWh) da Energia no Mercado Livre de Energia*

Figura 23 - Cenários de Receita de Tarifas em função da Economia Anual para a Comunidade

Figura 24 - Descrição do Negócio com base no modelo de Petrini, Scherer e Back (2016)

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Descontos por consumo de energia da Tarifa Social de Energia Elétrica
- Tabela 2 - Tarifas Relacionadas ao consumo de Energia - válidas a partir de 04/07/2023
- Tabela 3 - Custo de disponibilidade para cada conexão de rede
- Tabela 4 - Blocos de construção do Modelo Canvas
- Tabela 5 - Primeira simulação com dados gerais brasileiros de energia
- Tabela 6 - Cenário 1 para o dimensionamento do projeto
- Tabela 7 - Especificações do painel 330W - OSDA - ODA330-36-P
- Tabela 8 - Especificações do inversor Growatt 3kW monofásico 220V 2MPPT
- Tabela 9 - Verificação de compatibilidade dos equipamentos (Módulo 330W)
- Tabela 10 - Custo final para modelo de geração compartilhada (Módulo 330W)
- Tabela 11 - Cenário 2 para o dimensionamento do projeto
- Tabela 12 - Especificações do painel 580W da OSDA ODA580-36V-MHD
- Tabela 13 - Especificações do Inversor On Grid Deye Sun-5kW-220v
- Tabela 14 - Verificação de compatibilidade dos equipamentos (Módulo 580W)
- Tabela 15 - Custo final para modelo de geração compartilhada (Módulo 580W)
- Tabela 16 - Cenário 3 para o dimensionamento do projeto
- Tabela 17 - Especificações do Inversor On Grid Deye SUN2.25kW-220v
- Tabela 18 - Verificação de compatibilidade para autoconsumo (Módulo 580W)
- Tabela 19 - Custo final para o cenário de autoconsumo local (2x580W)
- Tabela 20 - Custo final para o cenário de autoconsumo local (3x580W)
- Tabela 21 - Relação Produto x Cliente do Modelo de Negócio
- Tabela 22 - Premissas para cálculo do Número de pessoas e Salário de Instalação
- Tabela 23 - Custos com mão de obra para Instalação dos sistemas para cada cenário
- Tabela 24 - Custos com Dispositivos para Instalação dos sistemas para cada cenário
- Tabela 25 - Custos com mão de obra para manutenção dos sistemas
- Tabela 26 - Economia com a instalação do negócio social
- Tabela 27 - Fluxo de Caixa para Geração Compartilhada com Painéis de 580W
- Tabela 28 - Fluxo de Caixa para Geração Compartilhada com Painéis de 330W
- Tabela 29 - Fluxo de Caixa para Autoconsumo
- Tabela 30 - Indicadores Financeiros para Análise de Viabilidade
- Tabela 31 - Tabela Resumo do Modelo de Negócio Social de Energia Fotovoltaica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. FURTOS E FRAUDES DE ENERGIA ELÉTRICA	14
1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO	19
2. OBJETIVOS	21
2.1. OBJETIVO GERAL	21
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3. METODOLOGIA	22
3.1. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA	22
3.2. ESTRUTURAÇÃO DO MODELO DE NEGÓCIOS	29
4. REVISÃO DE LITERATURA	31
4.1. ENERGIA SOLAR	32
4.1.1. APROVEITAMENTO FOTOVOLTAICO NO BRASIL	34
4.2. SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR	36
4.2.1. SISTEMAS ON-GRID	36
4.2.2. SISTEMAS OFF-GRID	45
4.2.3. SISTEMAS HÍBRIDOS	49
4.3. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	51
4.3.1. AUTOCONSUMO LOCAL	52
4.3.2. AUTOCONSUMO REMOTO	53
4.3.3. GERAÇÃO COMPARTILHADA	54
4.3.3.1. COOPERATIVA	55
4.3.3.2. CONDOMÍNIO CIVIL VOLUNTÁRIO	56
4.3.4. EMPREENDIMENTO COM MÚLTIPLAS UNIDADES CONSUMIDORAS	56
4.4. GERAÇÃO CENTRALIZADA	57
4.5. ANÁLISE DE OUTRAS APLICAÇÕES PRÁTICAS	58
4.6. ANÁLISE SOCIOECONÔMICA	61
4.7. MODELO DE NEGÓCIOS	65
4.7.1. MODELO DE NEGÓCIOS CANVAS	66
4.7.2. MODELO DE NEGÓCIOS SOCIAIS	68
4.7.2.1. REDE DE PARCEIROS	69
4.7.2.2. COMPETÊNCIAS	70
4.7.2.3. PROPOSIÇÃO DO VALOR	71
4.7.2.4. EQUAÇÃO DE LUCRO ECONÔMICO	71
4.7.2.5. EQUAÇÃO DE LUCRO SOCIAL ¹	71
4.8. VIABILIDADE ECONÔMICA	72
4.8.1. FLUXO DE CAIXA	73
4.8.2. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)	73
4.8.3. PAYBACK (TEMPO DE RETORNO DE INVESTIMENTO)	73

4.8.4. TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)	74
4.8.5. VALOR ANUAL UNIFORME EQUIVALENTE (VAUE)	75
4.9. COMERCIALIZAÇÃO DA ENERGIA	75
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
5.1. SIMULAÇÕES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	77
5.2. MODELO DE NEGÓCIO E VIABILIDADE FINANCEIRA	84
5.2.1. REDE DE PARCEIROS	84
5.2.2. COMPETÊNCIAS DA EMPRESA	85
5.2.3. PROPOSIÇÃO DO VALOR	86
5.2.4. EQUAÇÃO DO LUCRO ECONÔMICO	86
5.2.5. IMPACTO SOCIAL	92
6. CONCLUSÃO	94
REFERÊNCIAS	99

1. INTRODUÇÃO

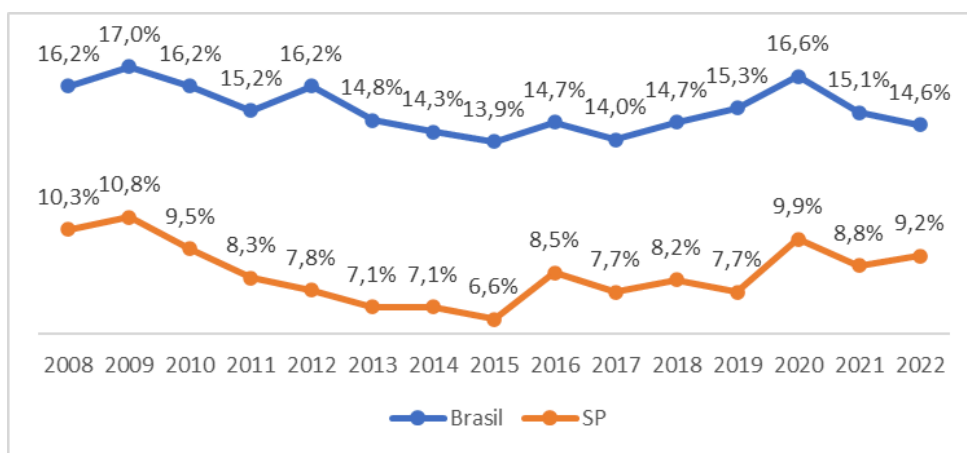
No âmbito da distribuição e comercialização de energia elétrica, um desafio significativo é representado pelas perdas globais de energia, que correspondem à diferença entre a energia fornecida e a efetivamente entregue. Essas perdas podem ser categorizadas em dois principais domínios: perdas técnicas e perdas não-técnicas. As perdas técnicas estão intrinsecamente relacionadas às características físicas do sistema, como as perdas de Joule. Em contrapartida, as perdas não-técnicas (PNT), também conhecidas como perdas comerciais, estão associadas a problemas na medição e faturamento da energia elétrica.

As perdas não-técnicas se desdobram em quatro blocos fundamentais: erros na medição, falhas no processamento de faturamento, falta de medição e furtos e fraudes de energia:

- Os erros na medição, diferentemente das fraudes, são problemas nos medidores, frequentemente de natureza técnica.
- As falhas no processamento estão diretamente relacionadas às operações da concessionária, abrangendo leitura, classificação ou faturamento dos dados de energia.
- A ausência de medição surge como um desafio predominantemente geográfico para as concessionárias, manifestando-se em regiões onde a medição efetiva é inviável. Adicionalmente, em alguns casos, certos consumidores, como bancas e iluminação pública, podem não ser medidos devido a questões legais.
- Os furtos e fraudes de energia são decorrentes de ligações clandestinas, popularmente conhecidas como “gatos de energia”, que buscam contornar o sistema de medição, representando uma forma ilícita de obter eletricidade. Essa prática compromete a integridade do sistema elétrico, resultando em prejuízos tanto para as concessionárias quanto para a sociedade em geral. A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) (2023) ressalta que os furtos e fraudes são o principal motivo das perdas não-técnicas.

Conforme dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2023), as perdas não-técnicas de energia correspondem a 14,56% do total no segmento de baixa tensão, que, por sua vez, representa 43% da energia injetada em 2022. Esse cenário resultou em um impacto financeiro significativo, totalizando R\$8,69 bilhões em custos. É relevante observar que o Estado de São Paulo demonstra maior eficiência quando comparado ao panorama nacional, registrando um percentual de perdas não-técnicas de 9,18% para o mesmo período. Esse desempenho mais otimizado sugere práticas mais eficazes na gestão e controle das perdas não-técnicas de energia elétrica no estado paulista.

Figura 1 - Evolução percentual das perdas não técnicas de energia no Brasil e São Paulo



Fonte: Adaptado de ANEEL (2023)

1.1. FURTOS E FRAUDES DE ENERGIA ELÉTRICA

Segundo Penin (2008), os furtos de energia estão relacionados às ligações clandestinas de energia - conhecidas como gatos, onde o consumidor liga a sua própria unidade à rede distribuidora, sem que haja anuência ou consentimento da concessionária. O autor ainda afirma que essa prática é principalmente concentrada em áreas invadidas ou favelas. Além disso, as Fraudes de energia são situações onde é realizado um desvio do ramal de entrada, localizado antes do medidor ou propriamente uma adulteração no medidor.

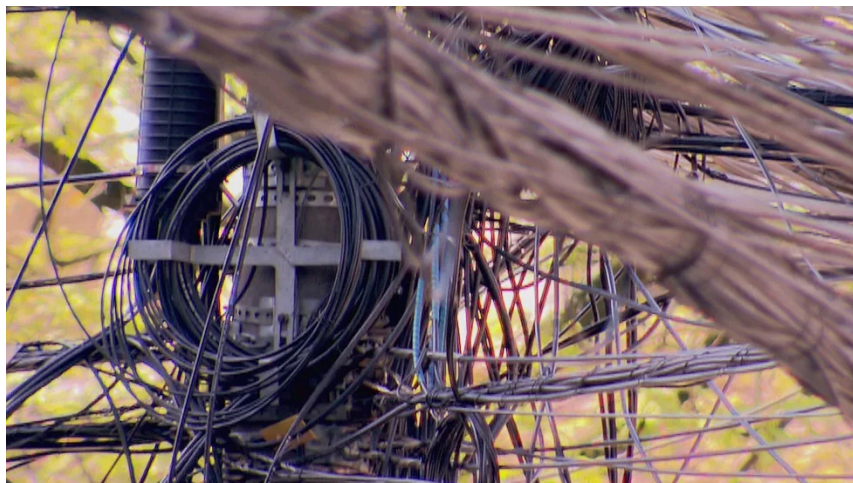
Conforme a ANEEL relata, algumas das principais práticas irregulares relacionadas à furtos e fraudes são: ligações diretas à rede secundária; desvio do ramal de entrada; utilização de dispositivos ilegais; curto-circuito na entrada e saída do medidor; entre outras.

Vieiralves (2005) e a ANEEL (2023) concordam em ressaltar que as perdas não técnicas relacionadas à ligações clandestinas de energia tem influência direta de fatores socioeconômicos, culturais e comportamentais da região de concessão. Portanto, o perfil dos consumidores, de maneira conexa com a sua educação e o meio onde estão inseridos, acarreta na prorrogação e manutenção do sistema de fraudes e furtos.

Amplificando o impacto decorrente do aumento das ligações clandestinas de energia, predominantemente observadas em bairros e regiões de baixa renda, encontra-se a interseção entre o perfil do consumidor e a dinâmica entre necessidades e desejos em um contexto capitalista e consumista. Esse cenário é impulsionado pelo constante avanço das tecnologias, principalmente aquelas relacionadas à eletroeletrônica, gerando uma crescente demanda por energia elétrica.

Mestre (2015) relata que com a evolução da globalização e expansão de novas tecnologias assim como a facilidade de acesso à elas, como por exemplo eletrodomésticos mais modernos, instigou nas camadas mais pobres e periféricas da população a vontade de pertencer à “cidade grande”, o que acarretou na utilização de ligações clandestinas como forma de facilitar e permitir o uso da energia elétrica.

Figura 2 - Ligação Clandestina de Energia em São Paulo



Fonte: G1 Globo, 2023

No que concerne à regulamentação e normas relacionadas às ligações clandestinas de energia, a legislação brasileira prevê punições para a prática de furtos ou fraudes de energia elétrica. Nos casos de furto, aplica-se o art. 155, §3º do Código Penal brasileiro. Já as situações de fraudes são contempladas no Código Penal, nos artigos 155, §3º c/c §4º, inciso II.

Adicionalmente às penalidades legalmente estabelecidas, a ANEEL prevê a interrupção imediata do fornecimento de energia elétrica ao constatar a existência de uma conexão clandestina. Essa medida está respaldada na Resolução Normativa ANEEL nº 1.000 de 2021, que também estipula a possibilidade de aplicação de multa em casos de infração.

Dessa forma, tanto a legislação penal quanto as normativas da ANEEL convergem para coibir ligações clandestinas, estabelecendo sanções legais e administrativas como forma de desestimular tais práticas ilícitas.

Como forma de incentivo à regulamentação das ligações de energia elétrica e expansão da acessibilidade, o governo brasileiro já criou algumas iniciativas de cunho social e econômico, como por exemplo a Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE), o programa Luz para Todos e a Bandeira Social.

Segundo a ANEEL (2022), a Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE) foi criada em 26 de abril de 2002 através da Lei nº 10.438 e regulamentada através da Lei nº12.212 em 20 de Janeiro de 2010, por intermédio do decreto nº7.583 de 13 de outubro de 2011. Essa tarifa tem como objetivo oferecer descontos nas contas de

energia para clientes e consumidores da subclasse residencial de baixa renda conforme a tabela 1:

Tabela 1 - Descontos por consumo de energia da Tarifa Social de Energia Elétrica

Consumo mensal de Energia	Desconto	Tarifa para aplicação da redução
de 0 a 30 kWh	65%	B1 Subclasse baixa renda
de 31 a 100 kWh	40%	
de 101 a 220 kWh	10%	
a partir de 221 kWh	0%	

Fonte: Adaptado de ANEEL (2022)

O Programa Luz para Todos representa uma significativa iniciativa do governo brasileiro para expandir o acesso à energia elétrica, especialmente em regiões remotas, com foco principal nas populações rurais e na região amazônica. A implementação desse programa teve início a partir do Decreto nº 4.873, promulgado em 11 de novembro de 2023, marcando um marco importante na busca pela universalização do fornecimento de eletricidade.

Outra ação relevante foi a introdução da Bandeira Social, uma medida implementada em resposta à pandemia do COVID-19. Essa iniciativa foi concebida com o objetivo de proporcionar descontos expressivos, podendo chegar a 100%, nas tarifas de energia para consumos de até 220 kWh/mês. A regulamentação da Bandeira Social foi formalizada por meio da Medida Provisória nº 950/2020, apresentando uma abordagem emergencial e solidária para enfrentar os desafios econômicos durante o período crítico da pandemia.

Além dos impactos socioeconômicos decorrentes das ligações clandestinas de energia elétrica, é crucial abordar os sérios riscos à segurança das pessoas associados a essa prática. Choques elétricos, superaquecimentos, incêndios e curtos-circuitos emergem como ameaças iminentes, conforme destacado por SILVA (2020). Além desses perigos imediatos, é válido mencionar os prejuízos para os consumidores locais e o desestímulo para investimentos na infraestrutura elétrica.

Os choques elétricos são um resultado direto da tentativa do consumidor infrator de realizar uma ligação clandestina, muitas vezes sem o conhecimento ou os

equipamentos necessários. Durante essa prática, diversos problemas podem ocorrer, como o contato com estruturas condutoras, especialmente de alta tensão, ligações inadequadas e falhas no isolamento do circuito.

Quanto a incêndios e curtos-circuitos, esses riscos são exacerbados pelo mal preparo do infrator. A sobrecarga do sistema, devido às conexões além da carga suportada, pode levar ao superaquecimento do circuito. Materiais de qualidade inferior frequentemente utilizados na confecção das ligações clandestinas também contribuem para potencializar esses efeitos adversos.

Esses perigos não apenas comprometem a segurança dos indivíduos envolvidos na prática das ligações clandestinas, mas também representam uma ameaça à integridade da rede elétrica, aumentando a probabilidade de interrupções no fornecimento de energia, danos materiais como a danificação de dispositivos elétricos, e prejuízos econômicos. Portanto, a conscientização sobre esses riscos é crucial, assim como medidas rigorosas para prevenir e combater ligações clandestinas. Como exemplo pode-se citar a notícia do G1 Globo de 08 janeiro de 2024 onde um homem de Nova Iguaçu morreu ao tentar fazer uma ligação clandestina de energia.

Com a problemática da energia elétrica, se relacionam os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) no Brasil da Organização das Nações Unidas (ONU). Nesse contexto, pode-se citar diversos objetivos que se relacionam e mostram a relevância da temática, como: Erradicação da Pobreza. Saúde e Bem-Estar, Energia Limpa e Acessível, Trabalho Crescente e Desenvolvimento Econômico, Indústria, Educação e Infraestrutura, Redução das Desigualdades e Cidades e Comunidades Sustentáveis

A partir dos riscos à segurança, a demonstração do problema socioeconômico relacionado às ligações clandestinas de energia de maneira atrelada à questão cultural das regiões carentes e subdesenvolvidas, as quais estão imersas em um cenário de ascensão das novas tecnologias que necessitam de maior capacidade e potencial elétrico, nota-se pelo gráfico da figura 1 que percentualmente não está se reduzindo a relação das perdas não-técnicas (comerciais) sob o todo.

Portanto, reforçados pelos ODS da ONU como pontos relevantes, se demonstra o potencial de desenvolvimento de práticas alternativas para a diminuição e/ou resolução das ligações clandestinas de energia no Brasil.

Assim, a energia solar se insere como uma das formas de geração de energia, de forma a mitigar as ligações clandestinas residenciais, através de uma geração limpa, sustentável e que ajuda a reduzir o custo de energia utilizada para os consumidores. Desta forma, é possível, através deste trabalho, incentivar o uso de energia fotovoltaica para a comunidade em foco, concedendo inúmeros benefícios para a sociedade, além de servir de exemplo para outras implementações em diferentes locais.

1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO

Esse projeto tem como foco a comunidade de Heliópolis, conhecida também como a maior favela do estado de São Paulo, localizada na cidade de São Paulo. Concentrada na região sudeste da cidade, faz parte da subprefeitura do Ipiranga, distrito do Sacomã, com apenas 8 quilômetros de distância do centro. A comunidade possui aproximadamente uma área de 1 milhão de metros quadrados, onde vivem cerca de 200 mil habitantes, com 20.016 domicílios, de acordo com o censo de 2022 do IBGE.

Desde 1966, a área é controlada pelo Instituto de Administração Financeira da Previdência e Assistência Social, o IAPAS. Dentro de toda a área de Heliópolis, localiza-se o Hospital Heliópolis e o Posto de Assistência Médica, o PAM, construídos pelo Instituto. Na parte leste da região, é possível identificar duas áreas importantes, que foram desapropriadas do terreno original para uso da SABESP e da Petrobras. Nos anos seguintes, a prefeitura da cidade realocou 153 famílias da comunidade da Vila Prudente e Vergueiro para alojamentos “provisórios” em Heliópolis, que futuramente, iriam se tornar permanentes. É assim, então, que ocorre a formação de uma grande população concentrada na área, juntamente com trabalhadores responsáveis pela obra do Hospital e do PAM, além de outras famílias que se deslocaram para a região (UNAS, 2023)

Em 2006, a favela adquiriu o estatuto de bairro, sendo rebatizado como Cidade Nova Heliópolis. Hoje, o bairro conta com diversos comércios e estabelecimentos, o que fomenta a economia local e incentiva outras pessoas a também criarem seus empreendimentos ou buscarem trabalhos nestes.

Figura 3 - Mapa de Heliópolis



Fonte: Google Earth (2024)

As comunidades como um todo passam por diversas situações adversas, o crescimento populacional desencadeia problemas muitas vezes sem solução, e cada vez mais a vulnerabilidade social atinge as famílias destes locais. Deste modo, o projeto a ser apresentado visa propor a resolução de um problema recorrente nas favelas do Brasil, em especial, a de Heliópolis: as ligações clandestinas de energia elétrica.

Desde 2005, a ENEL, que antes era a Eletropaulo, realizou trabalhos para conscientizar o perigo causado pelas instalações elétricas clandestinas na comunidade,

incluindo a instalação de um posto de serviço dentro da comunidade, que regulariza o processo de transmissão de energia nas residências. Porém, a busca por regularização apresenta baixa procura dos moradores da comunidade, portanto, ainda existe muito trabalho para ser feito, e projetos sociais como este são essenciais para atingir todo ou quase todo o público de Heliópolis.

As populações vulneráveis da região sofrem também com a falta de oportunidade no mercado de trabalho, o que reduz as chances dessas famílias progredirem econômica e socialmente. Assim, com a realização deste projeto, serão criadas novas oportunidades de trabalho na região, o que ajuda a sociedade local não somente com a instalação do projeto, mas também com sua manutenção.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O Trabalho visa propor um modelo de negócio para viabilização e instalação de um sistema de energia fotovoltaico na comunidade de Heliópolis, no município de São Paulo, minimizando-se a existência de ligações clandestinas de energia, popularmente conhecidas como “gatos”.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A partir do objetivo geral do trabalho, pode-se definir objetivos específicos a serem alcançados:

- I. Analisar os motivos e causas subjacentes que levam à prática das ligações clandestinas, considerando fatores socioeconômicos e a situação da infraestrutura em Heliópolis.
- II. Realizar uma revisão bibliográfica sobre a comunidade de Heliópolis, compreendendo-se as suas maiores dificuldades e características sociais, econômicas e demográficas.
- III. Projetar o sistema energético fotovoltaico a ser aplicado na comunidade para sanar a demanda energética sem a necessidade da realização de ligações clandestinas de energia

- IV. Propor um modelo de negócios que seja economicamente viável, analisado por meio de indicadores financeiros, que viabilize a instalação do projeto de energia fotovoltaica na comunidade

3. METODOLOGIA

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica por meio de artigos e notícias para identificar as problemáticas existentes nas ligações clandestinas de energia. Posteriormente, através do mesmo método, levantou-se todos os pontos necessários para o embasamento teórico relacionado à proposta do modelo de negócios, portanto, abordou-se fatores teóricos e históricos de diferentes pontos a fim de aplicar no contexto da comunidade em questão.

Esta seção apresentará o desenvolvimento dos processos envolvidos por trás dos cálculos realizados, a fim de entender as motivações que levaram valores específicos a serem adotados, além de buscar justificativas para as tomadas de decisões as quais proporcionaram diferentes abordagens de dimensionamento do sistema e modelo de negócios para a comunidade de Heliópolis.

3.1. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Uma das principais etapas do dimensionamento é conhecer a demanda energética da comunidade de Heliópolis. Entretanto, é importante que projetos elétricos, já que dependem de dados reais sobre onde serão instalados, tenham estimativas confiáveis, a fim de proporcionarem valores aproximados da situação realista do local.

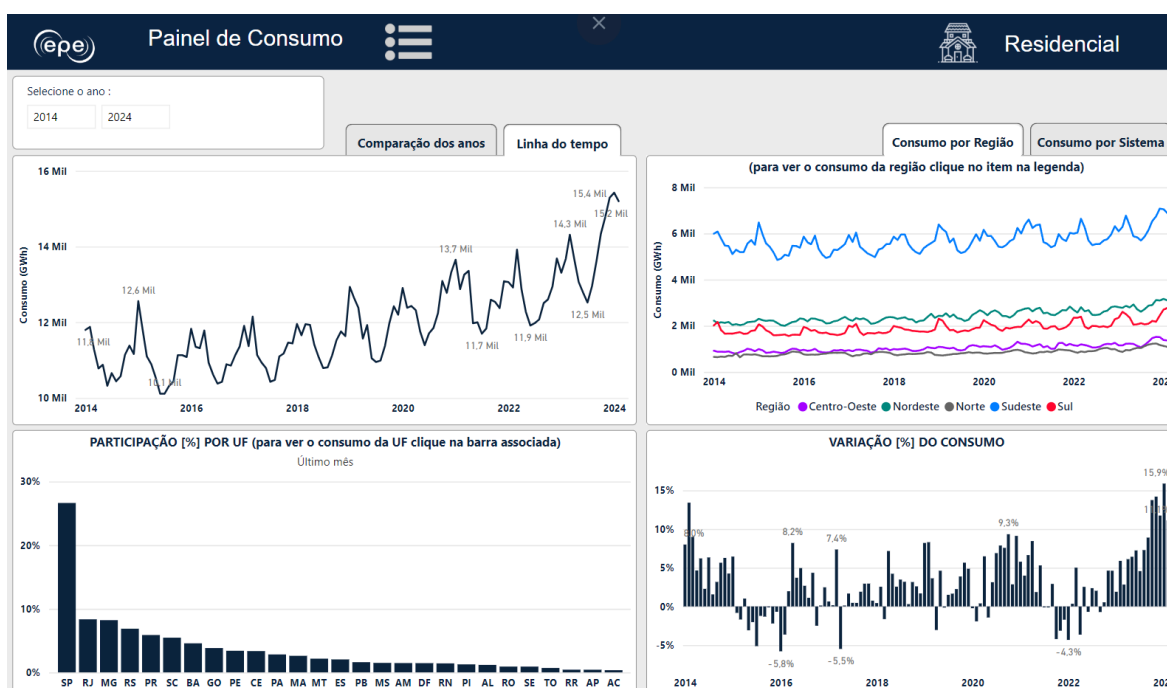
Como o sistema envolve atender a demanda energética de todos os domicílios, é necessário calcular uma média de consumo entre todos os existentes, mas não é possível saber a demanda de cada residência separadamente. Assim, parte-se de valores coletados em um grupo, seja maior ou menor, como é o caso de pesquisas sobre dados estatísticos, os quais realizam levantamentos em uma pequena parcela da população, ou conjunto de dados muito grandes, como é o caso de levantamentos energéticos de uma cidade inteira ou país inteiro.

Partindo do maior dado fornecido, o Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2023, da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), com ano base referente a 2022, mostra, em um de seus tópicos, o consumo de energia elétrica da classe residencial do país. Para ficar ainda mais coerente com a região, ao invés de ser utilizado os valores do país inteiro, é possível utilizar valores referentes somente ao Sudeste. Com uma população de aproximadamente 90,5 milhões, o consumo da região foi de 167,8 kWh/mês, que totaliza 2.013,6 kWh no ano. Com esses dois valores, estima-se o consumo *per capita* da população, equivalente a 2.739 kWh / habitante, no ano.

Sabendo que Heliópolis conta com, aproximadamente, 200 mil habitantes, temos a demanda energética do local, mensal, e assim é possível prosseguir com o dimensionamento, com as escolhas corretas dos módulos fotovoltaicos, inversores e dispositivos de proteção.

Entretanto, foi encontrada uma dificuldade para tornar mais específico um valor obtido de dados geográficos, principalmente pela relação com o consumo destoante da região do Estado de São Paulo. Por mais que algumas características sejam visíveis quando analisa-se um valor por região, o consumo energético, tanto do estado, quanto da cidade de São Paulo, é muito maior se comparado com qualquer outra cidade. E isso se dá por um grupo de consumidores que eleva a média local, sem refletir situações de outras parcelas da população. Os gráficos obtidos da figura 4, retirada do site da EPE revelam como o consumo paulista pode mascarar situações dentro da região.

Figura 4 - Painel de consumo por UF e padrão de consumo das regiões brasileiras



Fonte: EPE(2024)

Assim, fica ainda mais claro a alta participação no consumo pelo estado de São Paulo, que indica um consumo excessivo que qualquer dado extraído de tal informação pode inibir situações internas estaduais, como o consumo esperado da comunidade de Heliópolis.

Quando se trata de análise dos sistemas de distribuição de energia elétrica, os cálculos necessários para estimar parâmetros são, muitas vezes, comparados e verificados com regiões que tenham características parecidas, isto é, uma população com consumo próximos, tamanhos semelhantes, rendas e padrões com alguma correlação. Deste modo, é possível pensar em um sistema e verificar sua precisão ou eficiência de acordo com outros sistemas que sejam aplicados em regiões com características próximas ao local de projeto.

Então, foram analisados dados obtidos com regiões semelhantes à comunidade de Heliópolis. Uma pesquisa feita pela Rede Favela Sustentável (RFS) e Painel Unificador das Favelas (PUF) realizada em 2023 levantou informações referentes a 15 favelas de 5 municípios do Grande Rio e as relações entre a eficiência energética e o uso de energia elétrica com a desigualdade social e pobreza.

A pesquisa foi feita com 1.156 famílias, totalizando 4164 pessoas, que, pensando nos valores de interesse para o projeto em desenvolvimento, resultam em 3,6 pessoas por família, uma média maior que Heliópolis.

Em um dos tópicos do relatório, foram exibidos os aparelhos elétricos que as famílias utilizam, em média, sendo 1 geladeira, 1 televisão, 1 ar-condicionado, 1 chuveiro elétrico, 1 máquina de lavar roupa, 2 ventiladores e 5 lâmpadas. O resultado encontrado para o consumo energético mensal por família foi de 174,1 kWh, ou seja, 48,33 kWh por pessoa. Com esses valores, tem-se os primeiros valores simulados com possibilidade de implementação do projeto, por geração compartilhada. Para as simulações do primeiro cenário, o painel fotovoltaico escolhido foi o Painel Solar Fotovoltaico 330W - OSDA - ODA330-36-P, e pro inversor, o Growatt 3kW monofásico 220V 2MPPT, enquanto no segundo cenário, para comparar a influência de uma placa mais potente com uma menor, foi escolhido o módulo de 580W da OSDA ODA580-36V-MHD, com o inversor On Grid Deye Sun-5kW-220V.

A tabela final com os custos é o ponto chave para a implementação do modelo de negócios, que irá fornecer informações a respeito da viabilidade econômica do projeto. Para o modelo de geração compartilhada, foram dimensionados todos os dispositivos de proteção, entretanto, não é possível levantar custos exatos a respeito destes, já que não foram obtidas as informações a respeito da rede de transmissão da comunidade, crucial para saber as tensões residenciais e a conexão dos fios, que também influenciam nos cálculos desses dispositivos. Porém, foi estabelecido um valor base de 10% sobre o custo incluído dos inversores e painéis, para não ignorar a influência desses dispositivos no projeto.

Feitas as simulações para o modelo de geração compartilhada, foi projetado também uma situação para instalações residenciais, realizadas separadamente, para cada família. A motivação foi a parte burocrática do modelo de fazenda solar ser mais complexa que uma simples instalação residencial, como já foi apresentado na seção 2.3. Para que seja possível e regularizada a aplicação da geração compartilhada, é necessário seguir uma série de regras distintas do modelo de autoconsumo local, pois envolve obrigatoriamente a associação de pessoas físicas ou jurídicas para fazer o uso da energia solar, gerada na fazenda solar, em suas residências ou comércios. Por isso,

não é possível ter a certeza de que os moradores terão a mesma taxa de adesão ao projeto caso o modelo implementado seja este, já que é muito mais convincente uma instalação que seja feita diretamente em suas residências, possibilitando que a comunidade visualize diariamente o projeto em funcionamento, além de menores exigências regulamentares para a efetivação do sistema.

Ademais, outros dois fatores foram analisados para que uma simulação do modelo de autoconsumo fosse realizado. Um deles é a infraestrutura adicional que o modelo de geração compartilhada exige para entrar em funcionamento: com a montagem das placas em um local diferente do local de uso da energia, a produção deve ser enviada às residências através das linhas de distribuição. Porém, não se sabe sobre a distribuição dos postes e fios da região, de modo que, muito provavelmente, haveria custos adicionais referentes à ligações extras capazes de interligar a rede elétrica da comunidade com a fazenda solar, e que não foram simulados, pois não são custos diretamente relacionados com o projeto do sistema fotovoltaico; o segundo ponto é a falta de um único espaço para a implementação de todo o projeto. A área estudada para a montagem do primeiro modelo é localizada dentro do terreno da Petrobras, e apresenta a maior área aproveitável da região. Porém, mesmo sendo o maior local, ainda não é suficiente para a quantidade simulada anteriormente, como mostra a figura 5.

Figura 5 - Áreas úteis dentro da comunidade para geração compartilhada



Fonte: Google Earth (2024)

A área em destaque, com a linha mais grossa vermelha, dentro da região de Heliópolis, traçada com uma linha vermelha mais fina, apresenta uma área total (sem considerar a área útil) de 123 mil metros quadrados, pensada inicialmente. Conhecendo o projeto, e que este pode tomar dimensões maiores pela demanda de uma população de 200 mil habitantes, foi analisado também áreas alternativas, em amarelo no mapa, que totalizam, junto à área vermelha, 220 mil metros quadrados. Para que o projeto seja possível, é necessário então que a área total ocupada pelas strings esteja dentro da área existente. Caso ocorra o contrário, o projeto ainda é viável, mas a instalação dos módulos deverá ser feita em locais mais afastados, onde há área útil para o sistema, o que acrescentaria custos com a infraestrutura adicional

para transmitir a energia produzida até a comunidade, o que pode não ser vantajoso e dar ainda mais dificuldade para a execução do projeto.

Sabendo disso, foi desenvolvido o terceiro cenário para a simulação, considerando os consumos residenciais separadamente, que seriam calculados a partir de um dimensionamento em uma residência, multiplicado pelo número de famílias habitantes da região. Os painéis fotovoltaicos utilizados ainda são os de 580W da OSDA, mas o inversor foi alterado para o microinversor de 2250W, Deye SUN2250G4.

Nesta situação, a energia total de demanda ainda foi considerada como 9,66 MWh, mas, para saber a demanda média por residência, foi considerada uma média de 3,2 pessoas por família em Heliópolis. Assim, para uma comunidade com 200 mil habitantes, encontra-se uma quantidade de 62.500 famílias, com 154,656 kWh de consumo mensal para cada casa.

Cada residência necessita de um microinversor neste modelo, o que impede que o número máximo de placas seja conectado ao dispositivo, e só assim uma nova string seja criada, diferentemente do modelo de geração, onde sempre era utilizado o número máximo de placas que o inversor suportaria. O total de placas que pode ser ligada ao conversor é 4, mas os modelos usam uma média menor, de 3,2 por residência, o que aumenta consideravelmente o número total deste equipamento, e encarece o projeto. Portanto, para este modelo em específico, foi considerado um método que obtém um retorno financeiro além do saving da própria comunidade.

Para isto, foi pensada uma capitalização de recursos anualmente através de um contrato pré-estabelecido entre a empresa responsável pelo projeto, e os moradores, que envolve um pagamento mensal de parte da conta de energia elétrica para a empresa, sem interferir na conta referente a distribuidora, ou seja, o cálculo é feito baseado na conta total do mês, onde a comunidade paga diretamente para a concessionária o valor já descontado com a produção de energia solar em suas casas, e paga uma parcela deste valor inteiro para a empresa do projeto. Com isso, é possível simular valores diferentes a serem cobrados por ano, variando então a porcentagem sobre o valor total da conta e variando a frequência de pagamento dessas taxas. A expectativa de retorno financeiro será exibida na seção 4.2.4, onde serão aprofundados os valores de saving da comunidade e a capitalização da empresa projetista.

3.2. ESTRUTURAÇÃO DO MODELO DE NEGÓCIOS

Para a elaboração do modelo de negócios, foi utilizado como base o modelo de Petrini, Scherer e Back (2016) de um modelo de negócio social. Conforme descrito na referência bibliográfica, esse modelo é dividido em cinco dimensões: rede de parceiros, competências da empresa, proposição de valor, equação do lucro econômico e impacto social.

Portanto, para a descrição do funcionamento da energia fotovoltaica em Heliópolis, foi realizada uma revisão bibliográfica do trabalho dos autores, agregando características voltadas ao negócio em questão para cada uma das dimensões e os elementos que as compõem.

Com relação à rede de parceiros, foi levantado e discutido possíveis parceiros estratégicos para o negócio, realizando revisões bibliográficas e exploratórias de potenciais órgãos que possam vir a contribuir para o negócio.

Para as competências da empresa, foram realizadas revisões bibliográficas acerca da comunidade de Heliópolis e do negócio de energia fotovoltaica descritas anteriormente, como por exemplo fatores geográficos, históricos, culturais, econômicos e sociais.

Assim como para as duas esferas anteriores, para a proposição de valor também foram realizadas revisões bibliográficas, principalmente voltadas ao funcionamento da energia fotovoltaica e suas distintas formas de atuação.

Para a equação do lucro econômico, inicialmente foi necessário o dimensionamento do circuito e o levantamento de todos os componentes e mão de obra envolvidos no funcionamento do sistema. Esse processo, assim como os cálculos dos custos e das receitas, foi realizado considerando-se três distintos cenários: Geração compartilhada com painel de 300W, geração compartilhada com painel de 585W e autoconsumo local com painéis instalados por residência.

Para o cálculo da mão de obra, foi estimado um valor de R\$5.000, onde cada funcionário exerce 8 horas de trabalho durante 250 dias úteis em um ano. Como estimativa, utilizou-se que cada funcionário instala uma placa a cada seis horas. Após o primeiro ano, considerou-se 300 funcionários trabalhando na manutenção do sistema.

Com essas estimativas, calcula-se a quantidade de pessoas por meio de uma relação de proporcionalidade: utiliza-se o número de placas sobre a quantidade de placas que um funcionário instala em um ano. A partir do número de pessoas e do salário estimado, tem-se os custos mensais de operação da instalação.

O levantamento dos custos relacionados à infraestrutura e equipamentos técnicos foi realizado por meio de cotações em sites de fornecedores, encontrando-se sistemas de qualidade e com melhores preços, a fim de reduzir ao máximo os custos envolvidos.

Com o dimensionamento, pode-se também traçar as receitas do processo. Essas receitas se referem à economia da comunidade nas contas de energia, uma vez que as placas solares serão fornecidas de acordo com o cunho social da iniciativa. Para esse cálculo, foi considerado o valor unitário das tarifas da ENEL, conforme a tabela 2.

Tabela 2 - Tarifas Relacionadas ao consumo de Energia - válidas a partir de 04/07/2023

Subclasse	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) [R\$/MWh]	Tarifa de Energia (TE) [R\$/MWh]
B1 - Residencial	396,03	260,46

Fonte: Adaptado de ENEL (2024)

Com as tarifas e a demanda energética estimada para a comunidade, pode-se calcular a economia multiplicando o valor unitário pela volumetria (energia necessária para a comunidade por mês), respeitando-se é claro o 95% de abatimento máximo segundo a legislação.

A partir das receitas e despesas calculadas, por meio de planilha eletrônica pelo Software Excel 365, foi estruturado o fluxo de caixa do projeto para os primeiros dez anos de funcionamento, o que por sua vez permitiu calcular indicadores que nos possibilitaram entender a viabilidade do negócio.

Inicialmente, através da planilha eletrônica foi calculado o VPL (Valor Presente Líquido) da iniciativa em dez anos. Como premissa, para todos os cálculos foi utilizado 4,5% como juros - uma aproximação da inflação (IPCA) dado pelo IBGE em fevereiro de 2024. Posteriormente, com a premissa de uma TMA (Taxa Mínima de Atratividade)

de 4,5%, uma vez que o projeto não precisa gerar e distribuir lucros, foi calculado a TIR (Taxa Interna de Retorno) por meio do excel.

Com o VPL calculado, pode-se calcular o VAE (Valor Anual Equivalente), entendendo-se como as rendas do projeto se distribuem ao longo do tempo e os anos mais críticos de funcionamento. Por fim, pelo excel pode-se calcular o payback para entender em quanto tempo o projeto retorna o investimento inicial e portanto entendendo-se a viabilidade ou não e o quanto deveria ser investido.

Finalmente, para a descrição do modelo de negócio é necessário demonstrar o Impacto Social. Com essa finalidade, foi realizada uma revisão bibliográfica de iniciativas semelhantes e de impacto social juntamente dos objetivos de desenvolvimento social da ONU. Dessa maneira, foi possível o levantamento dos impactos sociais e ambientais da implantação da energia fotovoltaica em Heliópolis

4. REVISÃO DE LITERATURA

Para a execução do trabalho, foram selecionadas referências bibliográficas que fundamentaram e guiaram o desenvolvimento do projeto. Deste modo, buscaram-se artigos que contemplassem as principais áreas de pesquisa da proposta elaborada.

Inicialmente, houveram pesquisas sobre energia fotovoltaica, objeto principal de implantação na comunidade de Heliópolis, que possibilitaram entender o funcionamento dos diversos sistemas de energia possíveis de serem instalados. Ademais, conceitos que reforçaram a vantagem de instalações deste tipo de energia, bem como a sua expansão atual no país, foram abordados para justificar a metodologia seguida.

Juntamente com a energia solar, é necessário que se entenda quais são os modos de geração desta energia, além da regulamentação específica de cada modelo. Portanto, foram realizadas pesquisas referentes à geração distribuída e centralizada, as quais permitiram os projetistas escolherem o melhor modelo para iniciarem o dimensionamento do sistema, e à legislação brasileira, esta que regula o mercado de energia solar e sua implementação.

Por último, é essencial que todo o projeto tenha uma execução pensada, eficiente e responsável para finalizar o projeto com minimização de erros, além de visar os benefícios que este proporciona, tanto para os consumidores, quanto para os financiadores. Assim, houveram pesquisas sobre modelos de negócios, que direcionaram os projetistas através de padrões capazes de conectar todos os aspectos envolvidos em um modelo como esse, como atividades chave, relacionamentos com clientes, parcerias principais e outros.

4.1. ENERGIA SOLAR

Tratando-se desta fonte de energia da frente de pesquisa, é abordado o conceito de fontes renováveis de produção de eletricidade, dada não só pela energia solar, como também a eólica, que utiliza a velocidade dos ventos, a hidrelétrica, com a energia cinética nos rios, a maremotriz, a qual faz uso das energias provenientes das ondas do mar, a biomassa, oriunda da matéria orgânica de origem vegetal e animal, e a geotérmica, produzida a partir do calor armazenado no interior do planeta. O que se nota de comum entre todas as fontes citadas, é que todas são dependentes do calor emitido pelos raios solares que chegam à Terra, pois os movimentos dos ventos, rios, marés, e até a realização de fotossíntese dos vegetais para a formação de matéria orgânica, estão relacionados à luz e ao calor gerado pelo Sol (BANDEIRA, 2012).

As fontes de energia podem ser utilizadas para diversas aplicações, seja em meios de transporte, sistemas de aquecimento ou bombeamento de água. Entretanto, a maior utilização se dá na geração de eletricidade. Os Humanos são muito dependentes da eletricidade, e com o crescimento da população, há um crescimento também da demanda energética no mundo todo. Com isso, as fontes de energia renováveis se tornam importantes para muitos países de forma a contribuir na matriz energética de forma majoritária, para uma geração limpa e sem agredir o planeta (VILLALVA, 2012).

Dentre as fontes de energia renováveis, existe a energia solar fotovoltaica, que é caracterizada por converter em eletricidade a energia luminosa proveniente do sol, que ao incidir nos painéis solares, geram corrente elétrica devido ao material semicondutor presente na célula fotovoltaica do painel (ZILLES, 2012). Das fontes alternativas de energia, a solar aparece como a mais limpa e eficiente, dada que sua produção é

silenciosa, de fácil instalação e manutenção, e pode ser posicionada em qualquer localização, sem afetar a fauna e flora local (BENEDITO; MACEDO; ZILLES, 2008).

Mesmo que existam opiniões contrárias a aplicação da energia solar por esta não ser competitiva quando comparada às outras, há indicações que o preço de instalação da energia solar para implementações de geração distribuída (quando não é necessário utilizar sistemas de transmissão nessas instalações) se iguala ou já é inferior à tarifas finais de concessionárias de eletricidade (ESPOSITO; FUCHS, 2013).

Muitas das aplicações da energia solar estão relacionadas a indisponibilidade das outras fontes de energia. Deste modo, regiões remotas cujos sistemas de transmissão de energia não chegam aos locais, ou chegam em menores quantidades, conseguem suprir a demanda de energia com painéis fotovoltaicos, os quais fornecem energia para purificar a água, manter a temperatura de medicamentos, alimentar equipamentos de saúde, sistemas de produção de alimentos, entre outros. (BANDEIRA, 2012).

Os sistemas fotovoltaicos apresentam duas configurações principais: isolados (ou autônomos) e conectados à rede elétrica. A diferença fundamental entre eles é a existência ou não de um sistema acumulador de energia. Os sistemas autônomos se caracterizam pela necessidade de um banco de acumuladores químicos (baterias), onde a energia gerada pelos módulos solares é armazenada e distribuída aos pontos de consumo. Esse é o tipo de sistema atualmente competitivo, economicamente, com formas mais convencionais de geração. Sistemas autônomos são normalmente utilizados quando o custo de estender a rede elétrica pública é proibitivo, devido à distância ou ao difícil acesso, juntamente à baixa demanda da comunidade a ser atendida. Nesses casos, frequentemente os sistemas autônomos fotovoltaicos (FV) são mais competitivos economicamente do que os geradores diesel comumente utilizados (FRANCO, 2013).

Os sistemas solares térmicos, empregados para aquecer ou produzir energia a partir do Sol, atuam de maneira diferente do sistema fotovoltaico. Este é capaz de absorver a luz solar diretamente e produzir corrente elétrica. A corrente, então, é coletada e processada por dispositivos capazes de convertê-la de corrente contínua

para corrente alternada, e capazes de controlá-la ao longo do percurso no sistema. Além disso, pode ser armazenada em baterias, ou devolvida para a rede elétrica.

Os sistemas fotovoltaicos autônomos são comumente utilizados em propriedades rurais, isoladas, para bombeamento de água, sistemas de sinalização e centrais de telecomunicações. Por mais que os sistemas *off-grid* sejam muito importantes para geração de energia em locais de difícil acesso, onde não chegam as linhas de transmissão, os sistemas conectados à rede ainda são mais utilizados, devido a sua utilização em centros urbanos, onde há a possibilidade de permanecer conectado à rede elétrica, sem a necessidade de criar um banco de baterias para o armazenamento de energia, e descarga quando há intermitência da energia solar.

Portanto, o potencial do sistema *on-grid* é grande para micro e mini sistemas de geração distribuída nos centros, assim como os parques de geração que funcionarão como grandes usinas geradoras (VILLALVA, 2012).

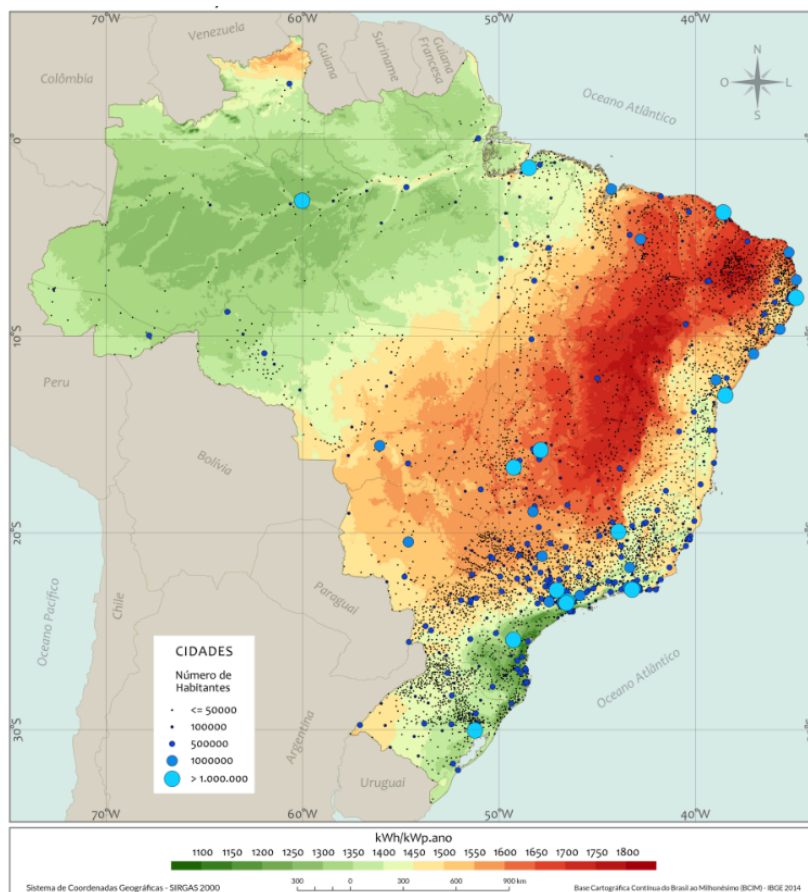
4.1.1. APROVEITAMENTO FOTOVOLTAICO NO BRASIL

No Brasil, o espaço para o crescimento da energia solar fotovoltaica é promissor. Além de ser uma fonte alternativa limpa, é uma opção muito viável para ampliar a geração de eletricidade já existente. Como o único requisito é a presença de luz solar, e um espaço reduzido que pode ser utilizado em locais já existentes, como os telhados de residências e comércio, o sistema é capaz de gerar energia facilmente em qualquer área do território brasileiro, que apresenta irradiação solar alta durante todo o ano. Ademais, a produção é feita no mesmo local da instalação do painel solar, sem necessitar que linhas de transmissão carreguem a energia até o local de uso (VILLALVA, 2012).

Em termos técnicos, o ponto menos ensolarado do Brasil é mais eficiente que o local mais ensolarado da Alemanha, referência mundial em geração de energia solar. Graças à localização favorável, com incidência solar alta e constante durante a maior parte do ano, o território brasileiro é um dos mais promissores para tornarem-se pioneiros neste tipo de produção. Ademais, com a constante injeção de energia solar na matriz energética do país, é possível reduzir os picos de demanda do Sistema Interligado Nacional, o SIN, consequentemente impedindo o aumento das tarifas pelo

uso de eletricidade em horários de pico; e ao tratar-se de custos, ainda, com a crescente redução dos custos para criação e manutenção da tecnologia fotovoltaica, é favorável a sua utilização no país cada vez maior entre os diferentes tipos de construção (residência, comércio ou indústria). (ATLAS, 2017).

Figura 6 - Potencial de geração solar fotovoltaica em termos de rendimento energético anual para todo o Brasil, medido em kWh/kWp.ano no perfil de cores



Fonte: (ATLAS, 2017)

A maior vantagem da energia solar fotovoltaica, para o sistema elétrico, é a possibilidade de gerar energia próximo ao centro de consumo. Na produção usual de energia, que provém das concessionárias através das linhas de transmissão, além de ficarem distantes dos centros consumidores, é necessário investimento nas linhas, as quais demandam mais espaço e, conseqüentemente, ameaçam o meio ambiente. Ao

produzir energia no próprio local de origem da demanda, parece ser uma forma mais vantajosa de fornecer eletricidade (BENEDITO; MACEDO; ZILLES, 2008).

Entre janeiro e setembro de 2023, de acordo com dados do Ministério de Minas e Energia, houve um acréscimo de 3 Gigawatts de energia solar à matriz energética brasileira, sendo o maior crescimento anual desta energia na história do país. Além disso, tal crescimento ainda não considera a produção envolvendo micro e minigeração distribuída, dadas pela produção de energia através de placas solares instaladas em fábricas, indústrias, comércios ou residências, de modo que a utilização de energia solar seja ainda maior que o dado divulgado.

Isso mostra o potencial brasileiro de utilizar esta fonte de energia para diversificar a matriz energética do país, de forma que, cada vez mais, esta seja formada majoritariamente por fontes de energia limpa, assim como disse o ministro de Minas e Energia, Alexandre Silveira: “O Brasil tem mais de 80% da matriz energética limpa e renovável. Somos capazes de liderar a transição energética em âmbito internacional. Vamos continuar investindo em fontes de energia sustentáveis, para exercer esse protagonismo e mostrar para o mundo do que somos capazes”.

4.2. SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR

Nesta seção, serão apresentados três modelos de implementação de sistemas fotovoltaicos. O primeiro é o sistema *off-grid*, caracterizado por atuar desconectado da rede. O segundo é o sistema *on-grid*, que é implementado em conjunto com a rede elétrica, e, por último, o sistema híbrido, composto pela união dos dois sistemas já citados anteriormente.

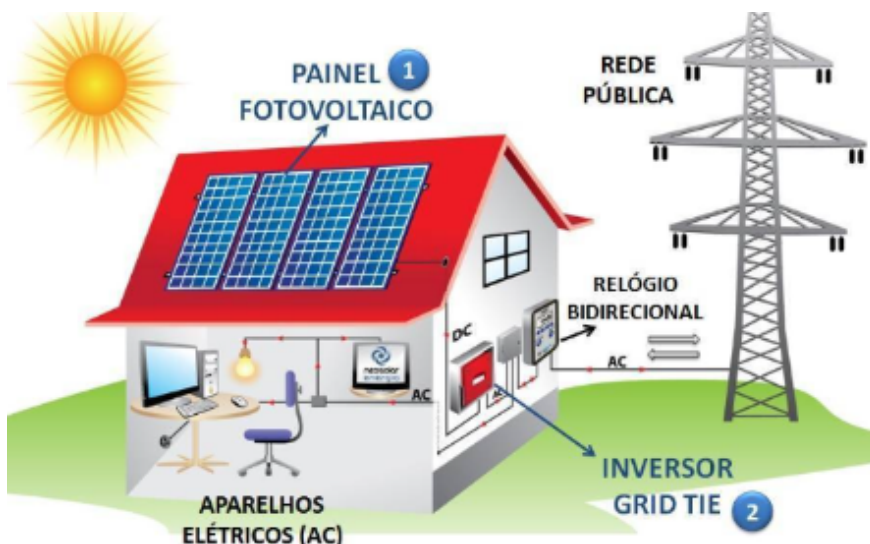
4.2.1. SISTEMAS ON-GRID

Embora os sistemas autônomos de energia solar fotovoltaica sejam uma importante alternativa para a geração de eletricidade em locais que não possuem rede elétrica, o uso da energia solar fotovoltaica em breve estará concentrado nos sistemas conectados à rede elétrica. O potencial de exploração dessa energia é imenso para a

aplicação em micro e minissistemas de geração distribuída, bem como nos parques de geração que funcionarão como grandes usinas de eletricidade.” (VILLALVA, 2012)

Para os sistemas *on grid*, o sistema é integrado à rede elétrica, de modo que a produção de energia pelo sistema fotovoltaico seja gerada e, caso haja um excedente na produção, tal energia é devolvida à linha de transmissão. Para isso, é necessário ter no circuito instalado, um inversor *on-grid*, que é responsável por sincronizar o sistema com a rede elétrica, e “mistura” tanto a energia elétrica produzida pelo módulo FV, quanto a energia que vêm da LT. Além disso, é necessário um medidor de energia, que é fornecido pela distribuidora ao instalar o sistema *on-grid* nos locais, e estes medem a quantidade de energia consumida e devolvida a linha, de modo bidirecional. Todos os componentes de proteção do sistema são localizados na *string-box*, na caixa de força do local. A imagem 5 representa uma instalação *on-grid* para ilustrar o funcionamento desse sistema.

Figura 7 - Sistema on-grid



Fonte: NeoSolar (2024)

Comparando os dois modelos, percebe-se que a maior diferença está no caminho da energia pós consumida pelas cargas. Para o sistema *off-grid*, as baterias armazenam a energia, a qual pode ser utilizada em épocas de intermitência para

alimentar o sistema. No sistema *on-grid*, o excedente gerado é devolvido às linhas de transmissão, de modo a baratear o custo da energia.

Para uma instalação em centros urbanos, o mais adequado é realizar a instalação *on-grid*, pois assim, em casos de falta de energia produzida pelo módulo FV, a rede é capaz de suprir a demanda. Além disso, os consumidores não precisam se preocupar com espaço para colocar as baterias, e nem precisam pensar em seus descartes depois, que são complexas e exigem cuidados especiais.

Entretanto, em casos de apagões, o sistema *off-grid* possui um diferencial: como é desconectado da rede, ele atua de maneira independente, tendo energia nas linhas ou não. Neste caso, o sistema *on-grid* fica dependente do funcionamento das linhas. Isso ocorre porque o inversor *on-grid* possui um mecanismo de segurança e proteção do circuito, de forma que, caso a linha não forneça energia, como em casos de apagões, o sistema instalado de energia solar também é desconectado, e o consumidor fica ilhado de qualquer modo.

Para projetar um sistema *on-grid*, um dos primeiros passos é saber a energia média mensal consumida, que pode ser obtida através da conta de luz da concessionária. No cálculo, é válido também obter uma média não só do último mês de consumo, por exemplo, mas de um período maior, para que se tenha um projeto com mais capacidade de suprir as demandas do local. Além disso, por estar conectado à rede elétrica, é cobrado um custo de disponibilidade, estabelecido pela resolução N° 414 12.010, artigo 98, da ANEEL, dependendo do padrão de conexão da rede, sendo exibido na tabela 3.

Tabela 3 - Custo de disponibilidade para cada conexão de rede

Custo de disponibilidade	
30 kWh	Monofásico ou bifásico a dois condutores
50 kWh	Bifásico a três condutores
100 kWh	Trifásico

Fonte: CARI (2020)

Portanto, ao saber a energia cobrada pelo custo de disponibilidade, e a energia média consumida mensalmente, é possível calcular a energia fotovoltaica que deverá

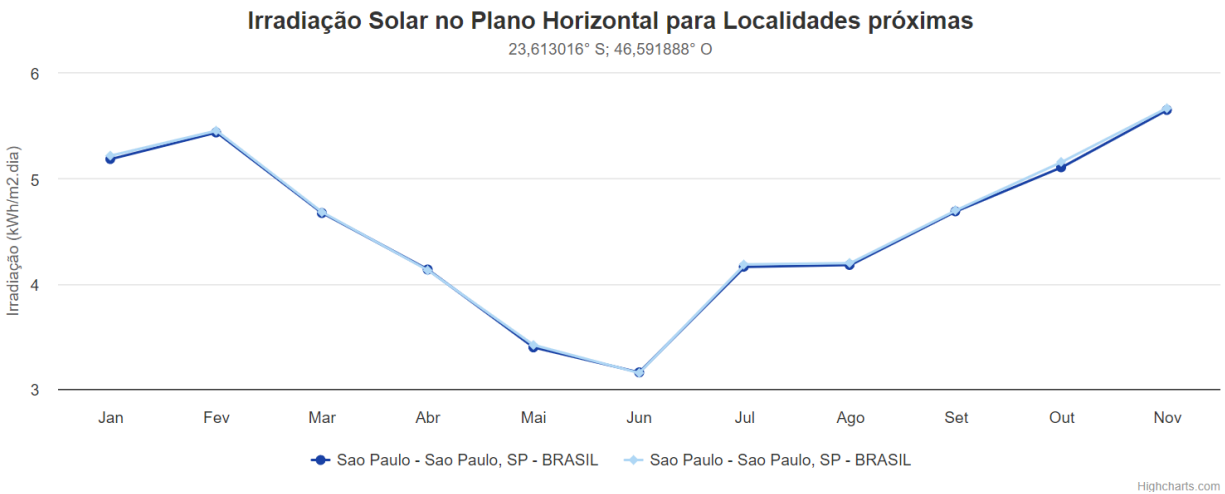
ser instalada. Chamando E_{CD} da energia do custo de disponibilidade, E_{FV} da energia fotovoltaica e E_M a energia mensal consumida, tem-se que:

$$E_{FV} = E_M - E_{CD} \quad (1)$$

A segunda variável de interesse é a irradiação solar (I_{RS}), que pode ser obtida através de um mapeamento no site do Cresesb. Conhecendo a latitude e longitude do local onde será instalado o sistema, e tais informações podem ser dadas pelo Google Maps, o Cresesb apresenta uma série de informações sobre a irradiação solar do local.

Neste sentido, ao utilizar as latitudes e longitudes de 23,601° S e 46,549° O, de Heliópolis, obtém-se os seguintes dados da irradiação solar para um plano horizontal no local, como mostra a figura 8.

Figura 8 - Irradiação solar de Heliópolis



Fonte: Cresesb (2024)

Escolhida a irradiação solar desejada, geralmente a média anual, que estabelece um valor confiável para as diversas modificações ao longo do ano, calcula-se a potência pico do sistema fotovoltaico, dada por P_{FV} :

$$P_{FV} = \frac{1000 \times E_{FV}}{I_{RS} \times 30 \times \eta} \quad (2)$$

O valor 1000 é referente à irradiância $G = 1000 \text{ W/m}^2$, e o 30 é referente ao cálculo de um mês. A eficiência η é calculada através de diversas outras eficiências, essas, por sua vez, ao serem multiplicadas, fornecem a eficiência total do sistema. Os fatores levados em consideração são a eficiência devido à perdas térmicas, ao inversor e à poluição do ar, além do sombreamento e posição dos painéis em relação a linha do equador.

Com isso, o número de painéis, N_{FV} , a serem utilizados no projeto é dado por:

$$N_{FV} = \frac{P_{FV}}{P_{NFV}} \quad (3)$$

Sendo P_{NFV} a potência nominal do módulo.

Caso esse número não seja inteiro, por questões de confiabilidade e minimização de erros, deve ser arredondado para o número inteiro acima do resultado, e então, a potência P_{FV} deve ser calculada novamente com o número de módulos arredondados.

Para a instalação do sistema, a área reservada para os painéis deve ser obtida, de forma a conhecer se aquele espaço é capaz de receber a instalação. Essa área é resultado do produto entre a área de cada módulo FV e o número de módulos do projeto:

$$A_{Total} = N_{FV} \times A_{FV} \quad (4)$$

Assim, com todos esses valores conhecidos, o próximo passo é escolher como será feita as ligações entre os módulos, isto é, quantas ligações em série ou em paralelo o sistema terá.

O datasheet de cada módulo fotovoltaico deve apresentar informações essenciais sobre as condições de operação dos painéis em condições de teste padrão (STC). Esses dados são: a potência de pico em STC ($P_{MÓDULO}$), tensão em circuito aberto (V_{OC}), corrente de curto circuito (I_{SC}), tensão de operação em máxima potência (V_{MPP}) < corrente de operação em máxima potência (I_{MPP}) e o coeficiente de temperatura da tensão em circuito aberto (α).

O cálculo depende também da atuação do inversor. Para obter-se valores em condições normais de operação, considera-se que o inversor está em modo de potência máxima, de modo que:

$$V_{MPP} = N_{FVsérie} \times V_{MPP} \quad (5)$$

A corrente I_{MPP} já é obtida no datasheet. Vale lembrar que tais valores obtidos se referem ao arranjo em série dos módulos fotovoltaicos, onde a tensão total é a soma de cada tensão em cada módulo, e a corrente é a mesma para todos os componentes ali conectados.

Esse cálculo em condições normais de operação é importante para prever um comportamento mais típico do sistema, já que são valores que estão de acordo com parâmetros externos comuns, como é o caso da temperatura que, em STC, é estabelecida em 25°C. Entretanto, os valores extremos do sistema também precisam ser calculados, pois, ao conhecê-los, faz-se o dimensionamento de elementos de proteção, bem como o dimensionamento do inversor.

Neste caso, a temperatura precisa ser considerada quando esta atinge um valor mínimo, já que a relação entre a tensão de um módulo é inversamente proporcional à temperatura. Assim, encontra-se a tensão máxima dos módulos em série de uma fileira, dada por $V_{SÉRIEMAX}$:

$$V_{SÉRIEMAX} = V_{OC} \times (1 + \alpha \Delta T) \times N_{FVsérie} \quad (6)$$

Assim, ao determinar o número de módulos e o número de fileiras dos painéis em série, pode-se realizar a etapa descrita para todas as fileiras, que então serão conectadas em paralelo.

Com essa etapa finalizada, o objetivo, então, é escolher o inversor para o sistema. Esse passo exige uma avaliação minuciosa dos valores dimensionados anteriormente, com os valores do componente a ser escolhido. Isso ocorre porque o inversor precisa apresentar dados que estejam dentro da faixa de operação do sistema. Caso isso seja feito de maneira errada, sem respeitar os limites de operação, em casos

de atuação extrema ou incomum dos módulos, é muito provável que o projeto apresente falhas, até, no pior dos casos, queime e perca toda a instalação.

No datasheet do inversor, as informações importantes devem ser observadas. Os valores de interesse são: a potência CA do inversor (P_{CA}), o número de MPPTs, a faixa de tensão de operação MPP (V_{CC}), a tensão máxima em corrente contínua (V_C), a tensão nominal de saída (V_{CA_NOM}) e a tensão nominal de entrada (V_{CC_NOM}), e, por último, a eficiência do inversor (η_{INV}).

Deste modo, analisa-se a compatibilidade entre os componentes escolhidos. Para isso, os valores de saída das fileiras dos módulos FV devem estar dentro da faixa de operação da entrada do inversor. Os valores observados devem ser a operação em MPPT (V_{MPP}), a operação de máxima tensão de saída ($V_{SÉRIEMAX}$) e a potência máxima por MPPT.

Portanto, os projetistas já são capazes de realizar os cálculos necessários para o dimensionamento do sistema fotovoltaico *on-grid* a partir dos valores encontrados para as variáveis descritas. Porém, para complementar o sistema e evitar possíveis danos com comportamentos anormais da rede ou do sistema, é importante que haja um sistema de segurança ligado ao conjunto estabelecido. Para isso, a norma NBR 5.410, seção 4.2.5.7 estabelece a distribuição de dois conjuntos de proteção, sendo um para o lado de corrente alternada, onde ocorre o consumo da energia, e um para o lado de corrente contínua, onde ocorre a produção.

Existem alguns dispositivos capazes de realizar as proteções dos componentes dos sistemas. Estes apresentam funções distintas, por isso, são aplicados em contextos diferentes.

Para o lado da corrente contínua, o primeiro dispositivo é o fusível, responsável por proteger o arranjo em série dos módulos FV de uma corrente reversa, proveniente de outros arranjos ligados em paralelo a este. A NBR16690, seção 5.3.9 estabelece a importância de ter fusíveis em arranjos quando a seguinte relação é estabelecida:

$$(N_{FILEIRAS} - 1) \times I_{SC} > I_{REVMAX} \quad (7)$$

Sendo $N_{FILEIRAS}$ o número de strings em paralelo e I_{REVMAX} a máxima corrente reversa do módulo. Este valor muitas vezes não é dado no datasheet do painel FV, mas os fabricantes já especificam uma corrente máxima do fusível série (I_{FMAX}). Para encontrar então o fusível necessário para o sistema em análise, é necessário obter a corrente I_F que o equipamento pode suportar, dada pelas duas relações:

$$1,5 \times I_{SC} < I_F < 2,4 \times I_{SC} \quad (8)$$

$$I_F < I_{REVMAX} \quad (9)$$

Além disso, deve haver uma relação para a tensão do fusível, que, por fim, resultam em duas equações finais para a escolha do equipamento:

$$I_F \leq I_{FMAX} \quad (10)$$

$$V_F \geq V_{SÉRIEMAX} \quad (11)$$

Prosseguindo com os dispositivos de proteção, o dispositivo contra surto de tensão (DPS) é utilizado para proteger contra tensões transitórias oriundas de descargas atmosféricas ou manobras na rede elétrica. O DPS é obrigatório, de acordo com a NBR 5410 para instalações alimentadas por redes aéreas e situadas no exterior de edificações. O objetivo do DPS é proteger o inversor, e cada MPPT deve possuir um dispositivo de proteção como esse.

Para seu dimensionamento, analisa-se os parâmetros a seguir: $V_{SÉRIEMAX}$, classe do DPS e a corrente máxima suportada pelo equipamento (I_{MAXDPS}). Para a classe, os sistemas FV são comumente pertencentes a classe II, já que a classe I é somente classificada quando o sistema está ligado a um SPDA, conhecido também como para-raio. A corrente máxima suportada pelo equipamento é estabelecida comercialmente de acordo com as classes de cada um.

Por fim, os últimos elementos de segurança são aqueles de seccionamento e manobra de acionamento. Na NBR 16690, os elementos para a instalação fotovoltaica são descritos, e a presença de um seccionamento em um arranjo deve ser obrigatório, enquanto para as séries fotovoltaicas, o elemento é opcional, mas sugerido pela norma. A função desses elementos é isolar o inversor dos módulos FV, para que seja possível realizar a manutenção dos componentes, por exemplo. O importante destaque é que inversores com mais de um MPPT devem ser considerados arranjos independentes, por isso a necessidade de manobras para cada string presente (CARI, 2020).

Para a escolha correta do equipamento, deve seguir a relação exposta em (12) e (13):

$$V_{CHAVE} > V_{SÉRIEMAX} \quad (12)$$

$$I_{CHAVE} > I_{ARRANJO} \quad (13)$$

Para a parte de corrente alternada, os dispositivos de proteção são o DPS para CA e o disjuntor CA. O DPS é dimensionado a partir da máxima tensão do lado CA ($V_{REDEMAX}$), corrente máxima de descarga ($I_{REDEMAX}$) e a classe do DPS, comumente da classe II. O valor escolhido para a tensão máxima costuma ser um pouco maior que o valor nominal da rede e a corrente de acordo com a classe e o valor comercial disponibilizado.

Já no disjuntor, é calculado o valor da corrente que irá percorrer o dispositivo (I_{DISJ}), que obedece a seguinte relação em função da corrente máxima de saída no inversor.

$$I_{DISJ} \geq 1,25 \times I_{CAMAX} \quad (14)$$

$$V_{DISJ} = V_{REDE} \quad (15)$$

As equações (1) a (15) foram utilizadas baseando-se em CARI (2020).

4.2.2. SISTEMAS OFF-GRID

Nos sistemas *off-grid*, a operação é feita de forma independente, de modo que o sistema não esteja conectado na rede elétrica. Por este motivo, o sistema depende de um mecanismo capaz de armazenar a energia excedente produzida e que supra a demanda das cargas quando os módulos fotovoltaicos não são suficientes para a produção. Assim, são instalados, juntos aos outros componentes, um banco de baterias que realiza essas duas funções.

Para gerenciar a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos e a quantidade de energia consumida, é utilizado um controlador de carga, o qual previne que o banco de baterias seja sobrecarregado ou descarregado de maneira excessiva, garantindo o bom funcionamento dos equipamentos e prolongando o tempo de vida útil destes. Por fim, como toda a produção de energia nestes componentes é realizada em corrente contínua, é necessário um elemento que transforma a corrente contínua em corrente alternada, possibilitando que as cargas sejam alimentadas. Esse componente é chamado de inversor *off-grid*. (CARI, 2020)

A fim de projetar um sistema *off-grid*, é essencial conhecer a tensão de operação das cargas (V_{CA}), bem como os equipamentos que neste serão ligados. Então, projeta-se uma tabela com a potência exigida pelos aparelhos de acordo com o seu uso diário ou mensal, e ainda calcula-se o consumo de energia.

De modo a dimensionar os outros componentes do sistema, calcula-se a corrente que passará pela carga, I_{CA} . Essa grandeza é calculada assumindo um valor seguro para o fator de potência da carga ($\cos(\theta)$), que indica o quanto esta aproveita da potência total (P_T) fornecida. Na maior parte dos casos, é utilizado o valor de 0,9. Assim tem-se que:

$$I_{CA} = \frac{P_T}{V_{CA} \times \cos(\theta)} \quad (16)$$

Conhecido os valores nominais da carga, o primeiro passo é dimensionar o inversor. A tensão de entrada desse equipamento (V_{ENTINV}) é a tensão em corrente

contínua dele. Quanto maior for a potência total da carga, maior será a tensão escolhida para a entrada. Ao escolher o valor para a tensão de entrada, a tensão aplicada no banco de baterias (V_{BAT}) será a mesma.

Como todo equipamento, o inversor possui também sua eficiência, dada por η_{inv} , que é obtida no catálogo do fornecedor, e que geralmente se situa entre 0,8 e 0,95.

Obtido esses valores, calcula-se a tensão de saída do inversor (V_{SAIINV}), que é igual a tensão da carga. A potência a ser escolhida pro inversor (P_{INV}) é obtida da razão entre a potência das cargas pela eficiência do equipamento:

$$P_{ENTINV} = \frac{P_T}{\eta_{inv}} \quad (17)$$

O próximo passo é dimensionar o banco de baterias que será utilizado. Os valores padrão das baterias são, geralmente, de 12V. Para determinar, então, se serão utilizadas mais de uma bateria, e caso isso seja necessário, saber quanto de tensão é preciso ter no sistema, determina-se a tensão total do banco de baterias. Neste caso, a tensão escolhida é igual a tensão da entrada do inversor. Assim, determina-se o número de baterias selecionadas, dada por:

$$N_{BATS} = \frac{V_{BANCO}}{V_{BATERIA}} \quad (18)$$

A capacidade do banco de baterias também deve ser calculada. Este é dado pelo produto da energia diária das cargas pelos dias de autonomia do banco de baterias, dividido pelo produto da profundidade de descarga do banco com a tensão do mesmo.

$$C_{BANCO} = \frac{E_D \cdot E_A}{V_{BANCO} \cdot P_D} \quad (19)$$

Determina-se também se será necessário ter fileiras em paralelo de baterias:

$$N_{FILEIRAS} = \frac{C_{BANCO}}{C_{BATERIAS}} \quad (20)$$

Com esses valores, o número total de baterias é calculado:

$$N_{TOTALBAT} = N_{BATS} \cdot N_{FILEIRAS} \quad (21)$$

Obtido os valores cruciais para o dimensionamento das baterias, determina-se os parâmetros para dimensionamento dos módulos fotovoltaicos.

O primeiro cálculo é a potência fotovoltaica corrigida, dada em função da irradiação solar, a energia mensal da carga em análise e o rendimento do sistema FV, considerando já as perdas no inversor e no banco de baterias, além dos condutores:

$$P_{FVC} = \frac{1000 \cdot E_M}{I_{RS} \cdot 30 \cdot \eta} \quad (22)$$

Com isso, obtém-se o número de módulos necessários para o sistema, dado por:

$$N_{MÓDULOS} = \frac{P_{FVC}}{P_{MÓDULO}} \quad (23)$$

E assim, a potência instalada é dada em (24):

$$P_{FVT} = N_{MÓDULOS} \cdot P_{MÓDULO} \quad (24)$$

Caso seja necessário instalar módulos fotovoltaicos em série, o número desses módulos é igual ao número de baterias colocadas em série no sistema.

O número de fileiras em paralelo é calculado analogamente ao número de fileiras em paralelo das baterias:

$$N_{FILEIRA_MÓDULOS} = \frac{N_{MÓDULOS}}{N_{MÓDULOS-SÉRIE}} \quad (25)$$

Além disso, é importante conhecer a tensão de operação do sistema dimensionado quando em máxima potência, dado pelo produto entre a tensão de máxima potência pelo número de módulos em série:

$$V_{FVMPP} = V_{MPP} \cdot N_{MODS} \quad (26)$$

A máxima tensão de saída do sistema é dado pelo produto entre a tensão em vazio e o número de módulos série:

$$V_{FVMAX} = V_{OC} \cdot N_{MODS} \quad (27)$$

Analogamente, determina-se a corrente de saída do sistema FV, dado pelo produto entre a corrente em curto-circuito e o número de fileiras em paralelo:

$$I_{FVMAX} = I_{SC} \cdot N_{FILEIRA-MÓDULOS} \quad (28)$$

Por último, é realizado o dimensionamento do controlador de cargas.

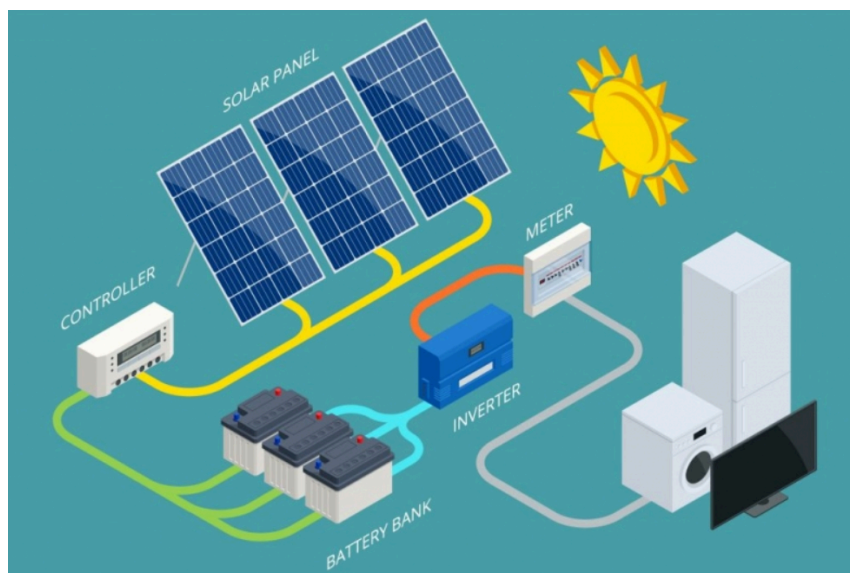
A tensão de operação do controlador de carga será a mesma tensão aplicada no banco de baterias.

A corrente que passa pelo controlador, entretanto, é dada pelo produto entre a corrente máxima do sistema fotovoltaico, I_{FVMAX} e o fator de segurança:

$$I_{CONTROLADOR} = I_{FVMAX} \cdot F_S \quad (29)$$

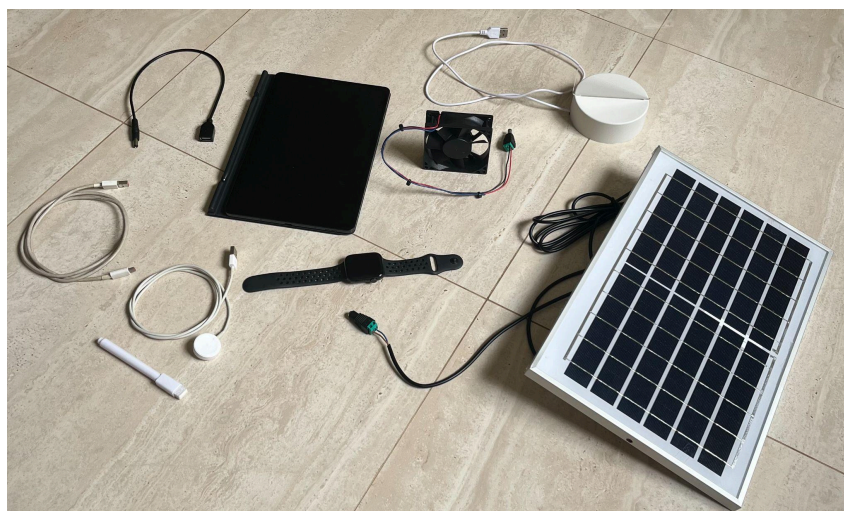
O fator de segurança nada mais é do que uma medida protetiva para evitar alguma corrente excessiva no sistema. Portanto, o valor para esta variável é, geralmente, de 1,1 a 1,25; apenas para fornecer uma margem para o sistema.

Figura 9 - Sistema *off-grid* com armazenamento



Fonte: Cete (2021)

Figura 10 - Sistema *off-grid* sem armazenamento



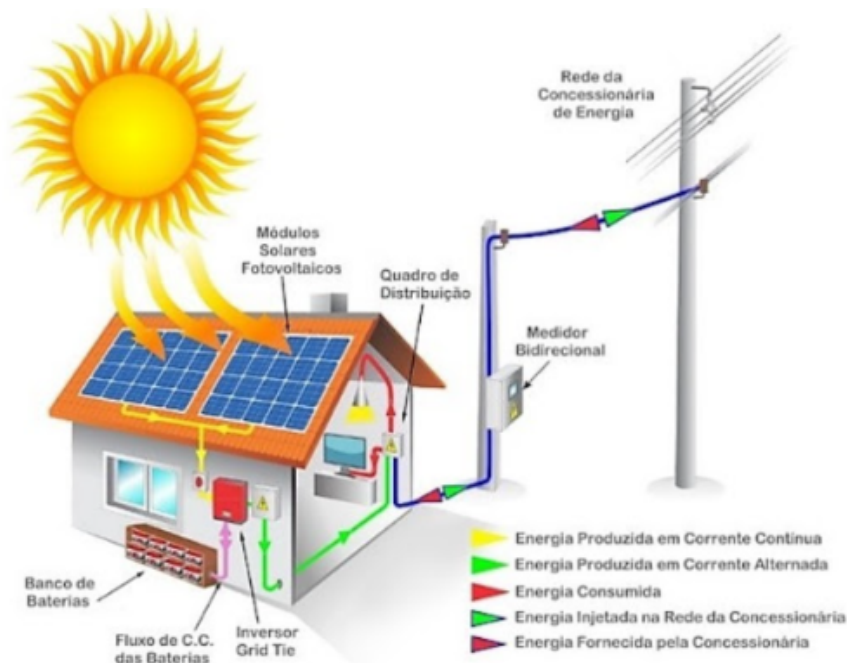
Fonte: Autores (2024)

4.2.3. SISTEMAS HÍBRIDOS

De forma a aproveitar os benefícios de cada sistema, recentemente, foi planejado um modelo que une as vantagens do sistema *off-grid* com o sistema *on-grid*. O chamado sistema híbrido conta com um circuito onde há armazenamento de energia por parte das baterias, e, ao mesmo tempo, possui uma ligação com a rede de

transmissão, de forma que o sistema consiga armazenar energia para períodos sem luz, bem como injetar a energia na LT para baratear a conta de energia. Com esse sistema, as instalações praticamente não teriam falta de energia, em nenhuma ocasião (isso se o sistema for bem dimensionado, de acordo com a demanda das cargas). O funcionamento do sistema pode ser identificado pela imagem a seguir:

Figura 11 - Sistema híbrido



Fonte: Ocaenergia (2021)

Portanto, locais como hospitais, fábricas, que necessitam que os equipamentos fiquem ligados durante longos períodos de tempo, e não podem deixar que uma queda de energia prejudique o seu funcionamento, deveriam usar esse sistema. O maior problema está em seu custo, que é muito caro, devido ao inversor híbrido ainda ser pouco fabricado, por isso possui um custo elevado, e as baterias, que também apresentam custos maiores para o sistema.

Por último, um fato que cresce o interesse dos admiradores do sistema *off-grid*, é a popularização dos carros híbridos ou 100% elétricos. Mas por quê? Estes carros funcionam quase como um sistema *off-grid*, quando colocados nas ruas. E o diferencial deles está justamente no componente do sistema *off-grid* mais delicado: a bateria.

Empresas que atuam nesse tipo de mercado não podem trabalhar com baterias de pouca eficiência, ou não seguras.

Para isso, foram projetadas e utilizadas baterias muito mais complexas que as comuns, que apresentam alta eficiência e maior tempo de vida útil, como as baterias de lítio, supercondutores, bateria de chumbo-ácido e outras. Assim, com a popularização dos carros elétricos, e consequentemente maior produção das baterias eficientes, os sistemas híbridos e *off-grid* poderão aproveitar a oportunidade para tornarem-se mais eficientes e competitivos com outros sistemas e meios de produção de energia.

4.3. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

O setor elétrico está em constante evolução, adaptando-se para atender às crescentes demandas e para proporcionar maior flexibilidade na produção de energia. Um exemplo dessa evolução é a geração distribuída (GD), que se divide em microgeração e minigeração, conforme definido pela Lei nº 14.300/2022.

A microgeração distribuída refere-se a centrais geradoras com potência instalada de até 75 quilowatts (KW), enquanto a minigeração distribuída abrange potências acima de 75 kW e até 3 MW (podendo chegar a 5 MW em circunstâncias específicas). Ambas as formas de geração estão conectadas à rede de distribuição por meio das instalações das unidades consumidoras (ANEEL, 2022).

Estas permitem uma transição do mercado de energia, especialmente com o crescimento do ambiente de contratação livre (ACL) e na integração de fontes renováveis. Portanto, desde 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) vem buscando regulamentar a presença da geração distribuída, dada a sua rápida expansão, conforme observado no Painel de Dados de Micro e Minigeração Distribuída da EPE.

A Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, juntamente com outras regulamentações, estabelece as condições para o acesso à rede elétrica, o sistema de compensação de energia e outros aspectos relacionados à geração distribuída. Por exemplo, o Artigo 2º dessa resolução define os limites entre microgeração e minigeração distribuída, enquanto também estabelece o sistema de compensação, no

qual o excesso de energia gerada pode ser injetado na rede para créditos futuros, com um prazo de utilização de até 36 meses.

Em 2015, a REN 687/2015 trouxe importantes alterações, incluindo mudanças nos limites de potência para cada tipo de geração, a classificação em modalidades como autoconsumo, condomínios e geração compartilhada, e a extensão do período de utilização dos créditos para 60 meses. A evolução do quadro normativo continuou com a REN 786/2017, que unificou os limites de potência para todas as fontes de energia renovável na minigeração distribuída, eliminando distinções anteriores.

No período entre 2018 e 2019, a ANEEL propôs revisões regulatórias para a REN 482, visando alterar as regras de compensação, o que gerou debates significativos (MENEZES, 2022), inclusive o movimento "Taxar o Sol não" (INOVACARE SOLAR, 2021). Essas propostas de alteração regulatória foram consolidadas na Lei nº 14.300, conhecida como Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída, sancionada em 2022 pelo Governo Federal. A lei principalmente altera o sistema de compensação, garantindo, no entanto, a manutenção dos benefícios para unidades já existentes ou que solicitem acesso dentro de 12 meses após a publicação, até 2045 (SENADO, 2022).

Considerando a parte benéfica da geração distribuída, é relevante destacar os benefícios que esses modelos trazem aos consumidores, incluindo a integração de fontes alternativas de energia à rede comum, reduzindo as emissões de poluentes e suprimindo demandas de consumo. Na sequência, serão apresentados os modelos de geração distribuída e sua regulamentação dentro do sistema elétrico.

4.3.1. AUTOCONSUMO LOCAL

Antes da Lei 14.300/22 a modalidade não tinha o nome de Autoconsumo Local, mas era chamada de "geração junto à carga". Com a publicação da lei, houve uma mudança na nomenclatura da modalidade, e que começou a ser chamado de Autoconsumo Local, pelo (Art. 1º Lei 14.300/22 e Art. 2º REN 1.000/21).

Essa, é a modalidade mais simples, pois o consumidor consegue optar pelo autoconsumo local, ou seja, ele tem seu próprio sistema de geração no local onde

haverá o consumo. O sistema de geração do consumidor é compartilhado com o mesmo ponto de energia da unidade consumidora com a geradora.

Apenas uma unidade consumidora pode ser usuária da energia gerada e somente um portador de Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas (CNPJ) ou CPF pode fornecer para a unidade consumidora, todos os créditos são destinados para a unidade geradora local.

Figura 12 - Autoconsumo local em comunidade no Jardim Nakamura, São Paulo



Fonte: Instituto Favela da Paz (2021)

4.3.2. AUTOCONSUMO REMOTO

No autoconsumo remoto várias unidades consumidoras podem consumir essa energia gerada por uma pessoa física (CPF) ou uma pessoa jurídica (CNPJ). Nessa modalidade de Geração Distribuída o consumidor que possui mais de uma unidade consumidora consegue fornecer energia para elas sem a geração estar instalada no mesmo lugar do consumo.

O Autoconsumo Remoto tem algumas características, como a unidade ser de um mesmo CNPJ(CNPJ matriz ou CNPJ filial) ou estar sobre um mesmo CPF e pertencer a uma mesma área de concessão da distribuidora de energia (Art. 1º Lei 14.300/22 e Art. 2º REN 1.000/21).

Normalmente esse tipo de Geração Distribuída é utilizada por pessoas que tem inúmeras residências, e alugam elas ou por empresários que têm redes de estabelecimentos já que por elas estarem em um único CPF ou CNPJ, os créditos gerados que são excedentes na unidade consumidora principal, podem ser transferidos para as unidades consumidoras filiais, esses créditos seriam utilizados para diminuir ou abater parte do valor da cobrança de energia elétrica.

Um exemplo que pode ser dado para entender sobre o Autoconsumo Remoto: Um empresário tem uma rede de lojas de roupas, todas as lojas estão em um mesmo CNPJ, o empresário resolve comprar um terreno apenas para instalar um sistema solar fotovoltaico para gerar energia elétrica para suas lojas, este terreno está um pouco afastado da rede de lojas mas está na mesma área de concessão da rede.

Figura 13 - Autoconsumo remoto, ilustração



Fonte: Azul Sol Energia Solar (2019)

4.3.3. GERAÇÃO COMPARTILHADA

A Geração Compartilhada, é uma das modalidades de Geração distribuída, esta geração é conhecida também como “Fazenda Solar”, diferente das outras Gerações, essa Geração tem a exigência de ser feita com mais de uma Pessoa Física (CPF) ou Jurídica (CNPJ).

Nela existe um acordo entre as unidades consumidoras, que estão dentro da mesma área de concessão, esse acordo entre as Unidade Consumidoras, podem ser feitas por pessoas físicas (CPF) ou pessoas jurídicas (CNPJ).

Ou seja, um grupo de moradores ou de empresas podem se juntar e investir em um sistema fotovoltaico, desde que estejam dentro da mesma área de concessão.

Figura 14 - Exemplo de geração compartilhada com uma fazenda solar



Fonte: Pexels (2023)

Após a Lei 14.300/22, houve acréscimos de novos modelos para reunir os consumidores, tendo as seguintes possibilidades:

4.3.3.1. COOPERATIVA

Esse modelo funciona com, no mínimo, vinte pessoas físicas, eventualmente podendo ter a adição de pessoas jurídicas. Não há fins lucrativos, limitando o uso para as pessoas dentro do acordo.

Para ter a adesão de novas pessoas nesse acordo é simples e apenas ocorre por meio de um termo de adesão; já a saída de membros pode ocorrer de três formas: por eliminação, exclusão e demissão.

Para ter esse modelo é necessário o registro na Organização das Cooperativas Brasileiras (OCB) do estado onde ela foi feita, precisando atender todos os princípios do cooperativismo.

4.3.3.2. CONDOMÍNIO CIVIL VOLUNTÁRIO

Esse modelo acontece quando uma pessoa tem o exercício da propriedade sobre determinado bem, quando o integrante tem exercício integral da propriedade em relação à terceiros, mas quando existe uma relação com outros condomínios o exercício é autolimitado à sua porcentagem de quota.

É constituído por um contrato feito tanto por pessoas físicas (CPF) quanto pessoas jurídicas (CNPJ) e a administração do contrato é feito através de escolha da maioria podendo ser escolhido ou o condomínio ou um terceiro que não é pertencente ao condomínio que pode ser ou pessoa física (CPF) ou jurídica (CNPJ), sendo que a administração que tem um mandato vigente tem que agir pelo bem de todos do contrato.

Esse contrato não é vitalício e pode ser negociado conforme a vontade dos condôminos sendo que o prazo máximo que pode ser feito primeiramente é de 5 anos, após a passagem dessa duração o prazo pode ser estendido pelo tempo que as partes acharem necessário, sem um prazo limite, podendo ser expandido através de um acordo.

4.3.4. EMPREENDIMENTO COM MÚLTIPLAS UNIDADES CONSUMIDORAS

O empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (EMUC) é a união dos participantes da geração distribuída para a instalação de um único sistema, entretanto, para diferir da geração compartilhada, a instalação é feita no mesmo local de consumo.

O sistema pode ser projetado para atender áreas de uso comum do condomínio, além de gerar os créditos que serão distribuídos aos condôminos de acordo com a sua participação e utilizados por eles para abater o consumo de suas respectivas unidades (casas, lojas etc).

Essa modalidade é muito utilizada em condomínios residenciais, prédios comerciais e shoppings.

Figura 15 - EMUC em um condomínio da MRV Engenharia, Belo Horizonte



Fonte: Fulltech (2018)

4.4. GERAÇÃO CENTRALIZADA

Na geração distribuída, a instalação dos módulos para a geração de energia ocorre em locais diversos, como residências, empresas, algumas usinas e em alguns campos, para um consumo local ou um consumo em outro pólo, desde que esteja no mesmo CPF ou CNPJ do proprietário daquele espaço. Na geração centralizada, a produção de energia é feita em um local concentrado, de grande porte, para suprir a demanda de uma quantidade maior de consumidores. A maior vantagem de um sistema como esse é a redução dos custos operacionais, já que sua instalação é concentrada e facilita a manutenção dos equipamentos.

A sua implementação também requer uma série de cumprimentos de normas técnicas da ANEEL, como a REN 482/2012 e a lei 9074/1995. Essas normas incluem a exigência de autorização da autoridade competente, que estabelece os termos e condições para o funcionamento da usina solar; os termos de contratos de compra e

venda de energia, os requisitos para conexão da usina à rede elétrica, que inclui questões de proteção do sistema, qualidade de energia e outros; sistemas capazes de monitorar e medir a produção de energia e a participação em leilões de energia elétrica (PORTAL SOLAR, 2021).

A principal diferença da geração de energia distribuída e centralizada está na venda da energia elétrica produzida. Para o consumidor que opta por uma geração distribuída, independente do tipo instalado (local, remoto, compartilhado), a produção de eletricidade será exclusiva para uso em suas propriedades, e o excedente gerado poderá somente abater custos futuros relacionados à conta de luz. Para a geração centralizada, que tem o intuito de produzir para outros consumidores, sem um consumo próprio de quem instala o sistema, é possível vender a energia elétrica para a população, ao associar-se a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), e participar dos leilões realizados pela ANEEL, ou no Ambiente de Contratação Livre (ACL), onde os consumidores escolhem de onde querem receber a energia em sua casa ou comércio.

É importante destacar que, para vender a energia produzida em sua geração de energia solar, além de toda a regulamentação e normas que devem ser seguidas para se enquadrar como produtor ou gerador, é necessário produzir entre 500 kW e 3 MW de energia. Deste modo, esses valores são de suma importância para o projeto a ser simulado e dimensionado a seguir, já que se for projetado para grandes demandas de energia, será possível abater não somente os custos da comunidade em análise, mas sim, gerar um rendimento através da venda da energia elétrica para o mercado consumidor.

4.5. ANÁLISE DE OUTRAS APLICAÇÕES PRÁTICAS

Para que o projeto em questão seja bem realizado, com minimização de erros, tanto no protótipo quanto na execução, foram levantadas pesquisas relacionadas ao mesmo assunto, ou seja, aplicações de energia solar em comunidades. As análises sobre os respectivos estudos levantados facilitam a identificação de custos e payoff dos projetos realizados, bem como as dificuldades de implementação. Assim, ao entender a

proporção da demanda entre as instalações já em funcionamento, com o projeto atual, possibilita a comparação entre a teoria e a prática do assunto, além de proporcionar uma estimativa de valores, sejam eles da energia elétrica necessária, do custo envolvido, da economia obtida e outros.

O primeiro projeto analisado está em funcionamento no Jardim Nakamura, bairro da periferia de São Paulo. Idealizado pela cientista ambiental Graziela Dantas Gonzaga, o projeto foi o primeiro a ser instalado no estado de São Paulo, considerado um plano piloto, e gera, hoje, uma energia de 8,91 kWp; o projeto conta com um inversor on-grid, e um conjunto de 22 placas solares, cada uma de 405 W.

O principal ponto observado nesta aplicação foi a procura por parcerias. Ao longo da construção da ideia de trazer a energia solar para as comunidades, Graziela buscou empresas e apoiadores para ajudarem na realização do projeto. Com isso, conseguiu o apoio da Periferia Sustentável, projeto já consolidado no Brasil e que possui diversas colaborações em projetos ligados à comunidades.

Além disso, a ideia da instalação não era somente incluir pessoas já capacitadas para a execução da obra, mas sim, trazer a própria comunidade para que os moradores soubessem da instalação e entendessem da importância do projeto e como mantê-lo ativo. Toda a parte burocrática foi de responsabilidade de uma empresa, a CL Solar, que é especializada em instalações fotovoltaicas. Sua função era, além de dimensionar o sistema, homologar o projeto com a Enel, necessário para ser possível retornar o excedente de energia para a rede, além de realizarem a homologação com a distribuidora.

Na realização das instalações, as equipes eram 100% formadas por moradores voluntários da comunidade, que foram capacitados ao realizarem os cursos de NR10 e NR35, as quais estabelecem requisitos mínimos para a atuação em instalações elétricas. De acordo com o coordenador da Periferia Sustentável, Fabio Miranda, o projeto foi muito bem executado e realizado dentro de todas as normas de segurança: “Foi uma experiência muito legal. Tivemos acompanhamento do engenheiro eletricista Poppi da CL Solar. Além de sempre contar com o apoio da Graziela, do Denis e da Thais. Todo mundo estudou e se certificou”. (CANAL SOLAR, 2021)

Deste modo, o projeto piloto de Graziela serve para identificar aspectos importantes na execução de outras obras semelhantes, sendo estes: a inclusão dos moradores na realização do projeto, sem que a instalação seja apenas fornecida ou instalada na comunidade, mas que a sociedade tenha o sentimento de participação na construção do mesmo; a procura por parcerias, pois cada um poderá focar em aspectos diferentes com mais conhecimento, de modo que uma empresa parceira responsável pela parte técnica dos módulos conheça a burocracia por trás das instalações, e uma ONG ou projeto na periferia saiba como convencer e procurar os moradores para se envolverem no projeto.

Outro grande projeto ambicioso está em realização na cidade de São José do Rio Preto (SP). A favela Marte terá uma geração fotovoltaica em todas as casas da comunidade, e será auto sustentável na geração de energia elétrica. A ONG Gerando Falcões está implementando o sistema por meio do projeto Favela 3D (Digital, Digna e Desenvolvida). A ideia é que o mesmo projeto seja aplicado em outras 300 favelas brasileiras.

Neste projeto, o ponto de análise foi a questão econômica, tanto da parte de investimento, quanto da parte de retorno à sociedade. Para o projeto, houve apoio de bancos e empresas de energia solar, como o Banco BV, Bradesco, Meu Financiamento Solar e também a siderúrgica Gerdau. Além disso, houve o apoio do governo do Estado e da prefeitura da cidade, além de uma arrecadação da ONG Gerando Falcões com a iniciativa privada (SOLARIS, 2022)

O projeto contou com um investimento total de 58 milhões de reais. Entretanto, esse valor também inclui os gastos com as reformas das residências da comunidade, que encarece consideravelmente o projeto. A reconstrução de casas, como propõe o projeto, envolve mobilizações maiores por parte dos moradores e uma responsabilidade maior dos projetistas, que também necessitam de mais empresas qualificadas para funções diversas na execução.

De acordo com os cálculos realizados pela ONG, haverá uma economia entre 4 mil a 6 mil reais por ano com gastos de energia, para cada família. Valores nesta faixa, em Heliópolis, seriam muito importantes para as famílias, como será exibido na seção “Análise Socioeconômica” a seguir.

Ainda, o incentivo à geração por meio de energia limpa e regulamentada é vista como uma forma de eliminar as ligações clandestinas existentes na comunidade em questão, como afirma o grupo Gerando Falcões, e consiga economizar o custo da energia elétrica, porém de forma legalizada.

Por fim, o terceiro projeto de estudo é uma iniciativa da Revolusolar, uma organização sem fins lucrativos que já beneficiou mais de 700 pessoas com a instalação de painéis fotovoltaicos em comunidades carentes. Com início em uma comunidade no Rio de Janeiro, a Babilônia, a iniciativa já contou com interesse de empresas de energia, universitários e estrangeiros para a implementação do sistema em duas pousadas da favela (UM SÓ PLANETA, 2023)

Uma das ideias da organização foi conscientizar a sociedade através das escolas, ao ensinar sobre energia solar para as crianças e adolescentes, que consequentemente levam o assunto para os ambientes familiares. Isso causa um efeito multiplicador dentro da comunidade, e faz com que os outros integrantes da família também se conectem com o tema e tenham consciência sobre a importância da proposta, como conta o economista Eduardo Ávila, diretor executivo da Revolusolar.

Esta é uma maneira eficiente de inserir o conteúdo do projeto dentro da comunidade. Quando agentes externos ao ambiente ali já estabelecido, com uma sociedade conhecida, é difícil aplicar projetos como esse sem antes haver uma comunicação bem estabelecida com a população. Para que seja possível esta conexão, as ONGs locais facilitam o processo de convencer as famílias a participarem das iniciativas propostas para a sociedade. Porém, este processo da Revolusolar é um método indireto que também pode ser muito benéfico, ao direcionar o assunto para os filhos das famílias, sem haver a comunicação direta entre agentes e sociedade, mas utilizando o ambiente escolar para permitir essa conexão.

4.6. ANÁLISE SOCIOECONÔMICA

O foco da proposta neste trabalho envolve benefícios econômicos para a população de Heliópolis. Deste modo, é de suma importância que haja uma análise socioeconômica dos moradores, para que seja traçado um perfil dos cidadãos

residentes da comunidade, e que possibilita o entendimento da situação de cada um, a fim de propor um sistema que traga um retorno para a sociedade.

Para que fosse possível uma perspectiva muito próxima da realidade, foi procurado o IBGE para obter análises socioeconômicas específicas da região. Através da Plataforma Integrada de Ouvidoria e Acesso à Informação, o Fala.BR, foi solicitado algumas informações da comunidade, mas devido a dificuldades para incentivar as favelas a preencherem o censo, não foi diferente em Heliópolis, e assim, poucos dados são obtidos destas. A resposta conclusiva pode ser acessada publicamente através do número 18800.056838/2024-83 no site gov.br.

Figura 16 - Solicitações não atendidas para a pesquisa

Número	Tipo	Órgão Destinatário
48003.002597/2024-17 	Acesso à Informação	MME – Ministério de Minas e Energia
48008.000052/2024-18 	Acesso à Informação	EPE – Empresa de Pesquisa Energética
18800.056838/2024-83 	Acesso à Informação	IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
48003.002191/2024-26 	Acesso à Informação	ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
18800.056835/2024-40 	Acesso à Informação	IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Fonte: Autores (2024)

Diante disso, houveram análises mais abrangentes que trouxeram informações importantes para um posicionamento crítico sobre a situação local, buscando obter dados relevantes para o projeto, os quais indicariam fatores que comprovam a necessidade de uma assistência à população referente a gastos mensais e anuais com energia elétrica.

Em um estudo de 2022 do Instituto Favela Diz, foram levantados dados referentes às duas maiores favelas da cidade de São Paulo, Heliópolis e Paraisópolis. Dentre as informações divulgadas, as duas de maior importância para este trabalho são a renda local e a faixa etária da população.

Dentre os 400 moradores ouvidos pela pesquisa, em Heliópolis, 39,5% disse receber em torno de R\$1200 até R\$2500. Vale ressaltar que o número de entrevistados não chega perto de 1% da população de Heliópolis, mas é possível estimar que uma grande quantidade da comunidade enfrenta situações muito parecidas com estas levantadas pelo estudo.

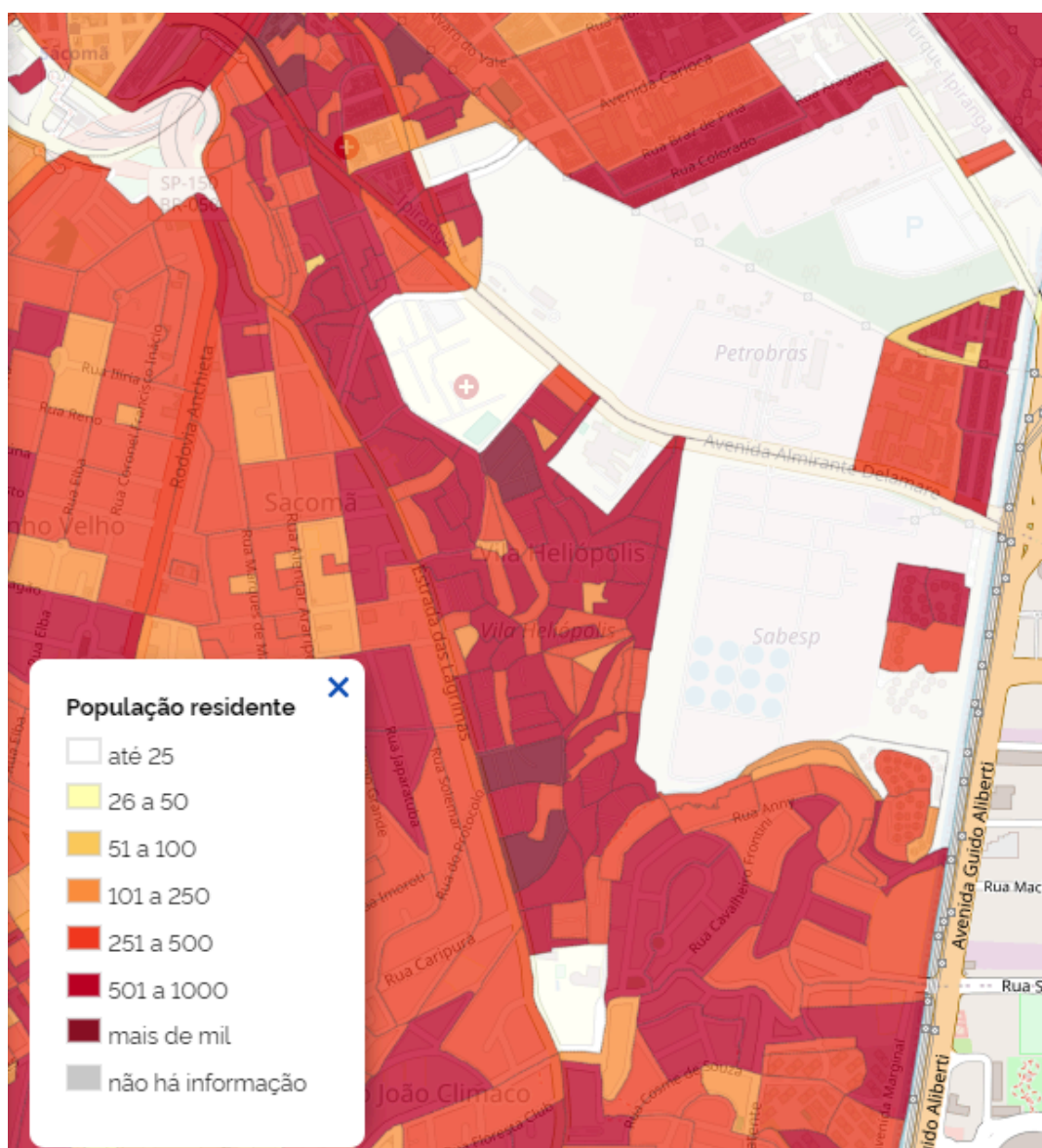
Considerando um salário mínimo, em 2024, de R\$1412, é perceptível que a renda dessa porcentagem da população é baixa, não ultrapassando 2 salários mínimos. Neste caso, a maior parte dos ganhos, na maioria das vezes, são destinados a manutenção das contas do mês, e isso inclui gastos com eletricidade, comida, água encanada e tratamentos de esgoto, se existirem. Com isso, muitas famílias não conseguem melhorar a qualidade de vida, pois os gastos mensais equivalem praticamente a todo o salário recebido para aquele período. Assim, projetos sociais que visem melhorias financeiras para boa parte da população é um dos meios para ajudar a comunidade a crescer o patrimônio, como é o caso em questão com a economia de energia.

Com relação à faixa etária, percebe-se que 66% da população procurada possui entre 18 e 44 anos, apenas 22% acima dessa faixa, e 9% entre 15 e 17 anos. A pirâmide etária da comunidade indica uma pirâmide adulta, e apresenta um cenário econômico positivo, já que a maior parte da população está na faixa de 18 a 44 anos, e consequentemente se inserem no mercado de trabalho. Este fator também é importante para a área de estudo do trabalho, que busca, como um dos pilares, fornecer empregos e especializações na área de energia solar. Com números atrativos na quantidade de adultos da região, encontra-se mais facilmente voluntários dispostos a ajudarem no processo de instalação do projeto, bem como a sua especialização na área, o que possibilita uma continuação nesta área de trabalho.

Tratando-se de consumo energético, alguns fatores podem modificar os valores de forma conhecida, por exemplo, é mais provável que as demandas de casas de famílias com o mesmo número de pessoas apresentem semelhanças maiores, quando comparadas entre números diferentes. Deste modo, foram pesquisadas as informações referentes a região sobre a população residente e a quantidade de moradores por

domicílio de Heliópolis, através dos setores censitários disponibilizados pelo IBGE no Censo Demográfico de 2022.

Figura 17 - População residente de Heliópolis por setores



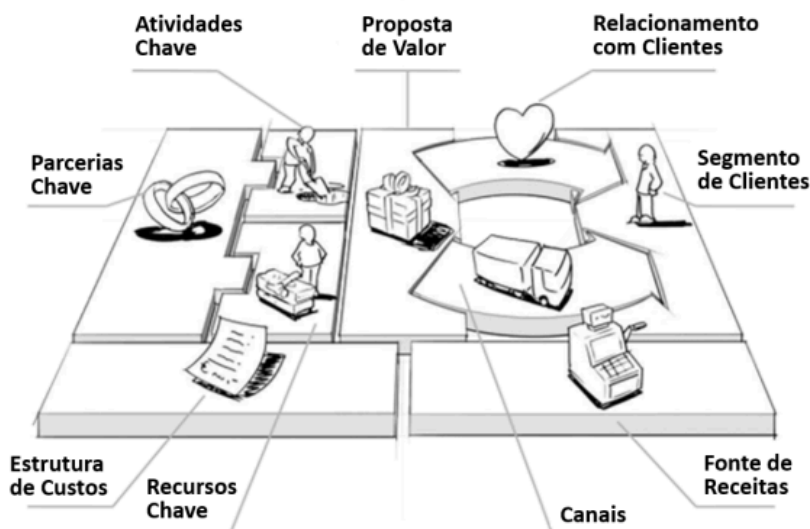
Fonte: IBGE (2022)

fundamentais aos valores dela. Portanto, pode-se entender o modelo de negócios como a ferramenta dinâmica do fluxo financeiro e operacional de um negócio, de maneira conjunta aos objetivos e metas da empresa.

4.7.1. MODELO DE NEGÓCIOS CANVAS

A partir dessas definições, Osterwalder (2004) demonstra uma proposta de modelo de negócios denominada *Business Model Canvas*. Essa proposta tem o objetivo de demonstrar de maneira simples o funcionamento das empresas por intermédio de nove blocos de construção: Proposta de Valor, Atividades-Chave, Parcerias Principais, Estrutura de Custo, Recursos Principais, Canais, Fontes de Receita, Segmentos de clientes e Relacionamento com clientes. Osterwalder e Pingneur (2010) demonstram o Modelo de Negócios Canvas por um diagrama como se fosse um quebra-cabeças.

Figura 19 - *Business Model Canvas*



Fonte: Osterwalder e Pingneur (2010)

A tabela 4, de maneira sucinta, reúne os principais pilares e suas definições do modelo de Osterwalder e Pingneur:

Tabela 4 - Blocos de construção do Modelo Canvas

Dimensão	Definição
Segmento de Clientes	Identificação e divisão dos principais consumidores do produto ou serviço
Proposta de valor	Benefícios que levam o cliente a optar pelo negócio
Canais	Meios de comunicação, venda e distribuição do produto ou serviço
Relacionamento com o Cliente	Meios de interação com os clientes potenciais e fidelizados
Recursos Chave	Recursos indispensáveis para entregar a proposta de valor requerida
Atividades-Chave	Ações fundamentais para conclusão dos objetivos do negócio
Parcerias Principais	Relação de parceiros e fornecedores atrelados à jornada do negócio
Estrutura de Custos	Levantamento dos custos dos processos para geração de valor
Fontes de Receitas	Maneiras de rentabilizar o negócio - geração de renda

Fonte: Autoral baseado nos conceitos de Osterwalder e Pingneur (2010)

Em paralelo com os modelos de negócio, está o empreendedorismo, conceito amplamente difundido em meio ao ramo empresarial. Dornelas (2001) afirma que “O Empreendedor é aquele que faz as coisas acontecerem, se antecipa aos fatos e tem uma visão futura da organização”. Nota-se que o termo “empreendedorismo” está sempre relacionado à persona empreendedor.

Schumpeter (1950) descreve em seu livro a persona empreendedor como alguém que possui a capacidade de encontrar uma oportunidade na economia, acarretando em progresso econômico. O autor ainda diz que essa oportunidade pode ser relacionada a negócios, material ou produtos e serviços.

Shane & Venkataraman (2000) relacionam como características principais do empreendedor a identificação, exploração e avaliação de oportunidades para transformação do seu entorno.

Portanto, no contexto corporativo, nota-se que o “empreender” é relacionado com a visibilidade de potenciais alternativas em momentos oportunos, onde se gera a construção de novos negócios para sanar esses *gaps* encontrados. Além disso, o ato de empreender está amplamente relacionado com a busca por lucratividade e crescimento exponencial de rentabilidade, principalmente com o surgimento de *startups*.

4.7.2. MODELO DE NEGÓCIOS SOCIAIS

Em contrapartida dessa busca incessante por maiores lucros, surge o conceito do empreendedorismo social. Rosolen, Tiscoski e Comini (2014) afirmam que a lógica de mercado em interação com o contexto econômico abriram alternativas para novas atuações unindo as esferas econômica e social, as quais se baseiam na geração de valor social. Ainda afirmam que os mecanismos de mercado podem ser usados na realidade de países em desenvolvimento, como o Brasil, para a solução de problemáticas de cunho social.

Parente e Quintão (2014) ressaltam que no empreendedorismo social, as finalidades do ato de empreender não são o lucro ou a acumulação de riquezas. Oliveira (2004) unifica diversos conceitos relacionados ao empreendedorismo social e destaca algumas características marcantes e indispensáveis desta prática de negócio, como: inovação, capacidade de gerar resultados sociais de impacto, realizável, autossustentável e envolver a população atendida na proposta. Segundo o autor: “ ... ação inovadora voltada para o campo social cujo processo se inicia com a observação de determinada situação-problema local, para a qual se procura, em seguida, elaborar uma alternativa de enfrentamento.”

Petrini, Scherer e Back (2016) afirmam: “... são organizações que visam solucionar demandas relacionadas a problemas sociais, seja ofertando produtos e serviços, seja incluindo indivíduos ou grupos. Essas organizações devem promover sua própria sustentabilidade financeira, sendo facultativa a distribuição de lucros.”

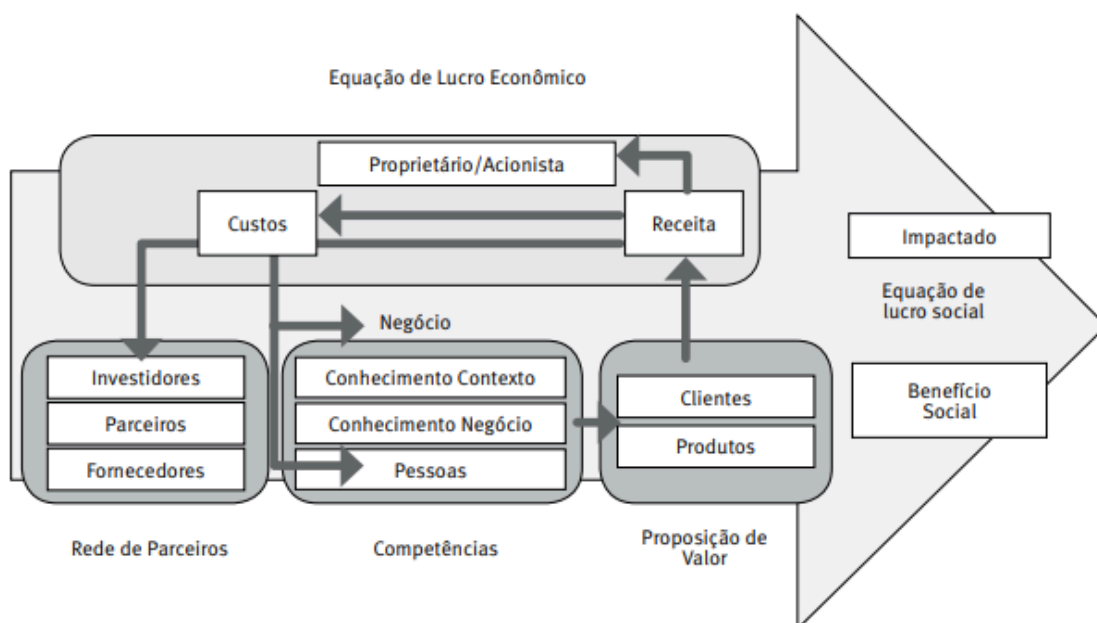
Dessa forma, o empreendedorismo social se mostra uma prática de impacto voltada para problemáticas sociais, onde um empreendedor cria uma forma auto sustentável de negócio para sanar determinada necessidade, visando-se principalmente o valor social em prioridade e, apenas em segundo plano, o valor econômico e financeiro.

A partir do conceitual que envolve os negócios de empreendedorismo social, juntamente da junção de modelos de negócios, onde um deles é o Modelo de Negócios Canvas descrito anteriormente e outro o modelo de Yunus, Moingeon, e Lehmann-Ortega, além de um estudo de caso com pesquisas, entrevistas e

questionários, Petrini, Scherer e Back (2016) propõem um modelo de negócios para NIS (Negócios de Impacto Social).

Esse modelo de negócio possui cinco dimensões (Rede de Parceiros, competências da empresa, proposição do valor, equação de lucro econômico e equação do lucro-social). Essas cinco dimensões são quebradas em treze elementos constituintes: Investidores, Parceiros, Fornecedores, Pessoas, Conhecimento Negócio, Conhecimento Contexto, Clientes, Produtos, Custos, Receitas, Proprietários/Acionista. Impactado e Benefício Social.

Figura 20 - Modelo de negócios com impacto social



Fonte: Petrini, Scherer e Back (2016)

4.7.2.1. REDE DE PARCEIROS

Essa dimensão diz respeito às instituições que ajudam a viabilizar o projeto de acontecer, envolvendo três elementos: investidores, fornecedores e parceiros.

Os investidores são indivíduos ou entidades terciárias que oferecem apoio financeiro e gerencial a negócios com impacto social, por meio de financiamentos e expertise estratégica, conhecidos como "*smart money*". Segundo Petrini, Scherer e Back (2016), os recursos externos de investimentos tem quatro principais fontes, sendo

elas investidores anjo, bancos, recursos de projetos do governo e fundos de investimentos em empresas com impacto social.

Os fornecedores são parceiros que auxiliam o negócio fornecendo as matérias primas para que o empreendimento flua e consiga funcionar. Algumas empresas com empreendimentos sociais buscam fornecedores locais ou de baixa renda para estimular a reação em cadeia da atividade.

Por fim, entende-se os parceiros como outros tipos de colaboradores que auxiliam de formas diferentes das descritas anteriormente no funcionamento do projeto. Petrini, Scherer e Back (2016) citam como exemplo na pesquisa aceleradoras e parceiros de apoio e consultoria. Os autores ainda exemplificam algumas aceleradoras no Brasil, tal como a Artemísia, Projeto Visão de Sucesso, Instituto Quintessa e Pipa.

4.7.2.2. COMPETÊNCIAS

De acordo com Petrini, Scherer e Back (2016): “Esta dimensão é constituída por elementos que representam os conhecimentos organizacionais necessários à abertura do negócio e o papel das pessoas em sua operação.

Portanto, ele se mostra extremamente importante para o bom funcionamento da própria organização, uma vez que conecta os conhecimentos prévios aos posteriores, isto é, os pontos necessários para instalação e para o sucesso do negócio. A dimensão é dividida em três elementos: Conhecimento Contexto, Conhecimento Negócio e Pessoas.

O Conhecimento do Contexto se refere ao conhecimento prévio sobre os beneficiários da iniciativa e sobre o local em que ela será instalada, fator importante para adaptação do modelo de negócio, para que se cumpra o seu papel.

Conhecimento no negócio diz respeito à qualificação teórica para realização dos processos necessários à atividade e serviço.

Pessoas, neste cenário, estão relacionadas à especialidade e técnicas para a realização da operação do negócio. Portanto, aqui é fundamental a correlação entre a comunidade e a empregabilidade da iniciativa no que se refere ao treinamento daquela.

4.7.2.3. PROPOSIÇÃO DO VALOR

Essa dimensão é constituída por dois elementos, sendo eles produto e/ou serviço e clientes. O primeiro elemento, respectivamente, é o que será ofertado como resultado do negócio para a geração de valor, ou seja, pode ser desde algo artesanal como venda de quadros à serviços como consertos e consultorias. Já o segundo elemento, é para quem o produto ou serviço será ofertado. Na circunstância de Negócios com impacto social, os clientes podem ser a própria comunidade (benefício em dobro, uma vez que se oferece a empregabilidade e o benefício final do serviço) ou terceiros.

4.7.2.4. EQUAÇÃO DE LUCRO ECONÔMICO

A equação de lucro econômico se refere ao quesito financeiro do empreendimento e é primordial para a auto sustentabilidade do negócio. Como descrito anteriormente, um modelo de negócio social deve se bastar e para isso, não pode gerar prejuízo ao longo prazo. Também, não há necessidade de gerar lucro econômico, ou seja, para essa categoria é possível a relação ser zero.

Essa dimensão é composta também de três elementos, sendo eles as receitas, os custos e a distribuição de lucros. Os custos se referem a todo e qualquer atividade ou aquisição que gere “prejuízo” financeiro. As receitas são as entradas de valor financeiro com a comercialização do produto e/ou serviço.

A Distribuição de lucros no modelo de negócios sociais não é obrigatória, Petrini, Scherer e Back (2016) ressaltam que há duas possibilidades caso haja excedente de receitas: a distribuição de lucros para acionistas e investidores ou o reinvestimento deste capital no próprio negócio para ampliação de atuação.

Para o cálculo do lucro, de maneira simplificada, considera-se a soma de todos os capitais que entraram na empresa por meio dos produtos menos a soma de todos os custos necessários para o funcionamento da empresa.

4.7.2.5. EQUAÇÃO DE LUCRO SOCIAL¹

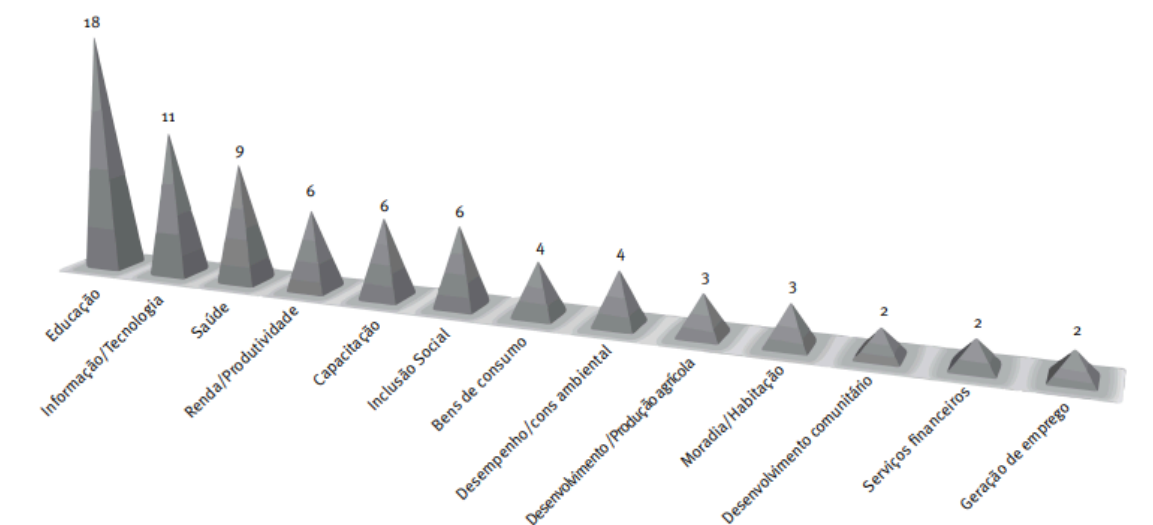
Como já citado anteriormente, o principal intuito de um negócio de impacto social é gerar benefícios sociais. Portanto, essa dimensão é trivial para o negócio,

¹ Para a continuidade do trabalho, o termo “Equação de Lucro Social”, utilizado pelos autores Petrini, Scherer e Back (2016), será substituído por “Impacto Social” para maior adequação ao contexto do modelo de negócio proposto

sendo dividida em dois elementos: Impactados com o negócio que se refere ao perfil e quantidade de beneficiários da instalação da iniciativa, e os Benefícios sociais gerados que contempla toda a esfera social e ambiental beneficiada.

Petrini, Scherer e Back (2016) em sua pesquisa com empresas de impacto social levantaram alguns exemplos de benefícios sociais gerados, assim como a sua volumetria, representados na figura 21.

Figura 21 - *Benefícios Sociais Gerados a partir de Iniciativas de Impacto Social*



Fonte: Petrini, Scherer e Back (2016)

Assim sendo, a partir da parametrização dessas 5 esferas e dos 13 elementos descritos acima, pode-se descrever o modelo de negócios e o funcionamento de um negócio com impacto social.

4.8. VIABILIDADE ECONÔMICA

Para a análise de viabilidade econômica, uma vez que um projeto de negócios sociais deve ser autossustentável, podem ser usados alguns indicadores para medir o quanto o investimento retorna e o seu funcionamento ao longo do tempo. Dentre esses indicadores, destacam-se: Fluxo de caixa, Valor Presente Líquido (VPL), Payback, taxa interna de retorno (TIR) atrelada à taxa mínima de atratividade (TMA) e por fim o valor anual uniforme equivalente (VAUE).

4.8.1. FLUXO DE CAIXA

Friedrich e Brondani (2005) definem o fluxo de caixa como a forma de controlar as entradas e saídas de recursos financeiros em um período de tempo, ou seja, as movimentações envolvendo valores econômicos. Portanto, o seu acompanhamento é fundamental para entender o funcionamento e rendimento de um investimento, uma vez que para um negócio funcionar, não se deve ter mais saídas do que entradas, caso contrário se têm um prejuízo.

Além disso, os conceitos de Fluxo de Caixa são fundamentais para calcular outros indicadores econômicos e de viabilidade de projetos, como o VPL por exemplo, que por sua vez desencadeia no TIR.

4.8.2. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

Segundo Silva e Fontes (2005), o VPL é definido como a somatória dos valores de um fluxo de caixa futuros trazidos ao valor presente, ou seja, a diferença entre as receitas e os custos de todo o processo ao longo do tempo, mas trazidos ao valor e características presentes. Portanto, os autores formulam o cálculo em (30):

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-j} \quad (30)$$

Onde: “n” é a duração do projeto (em anos), “j” é o período de ocorrência, “R_j” são as receitas no período, “C_j” são os custos e “i” é a taxa de juros.

4.8.3. PAYBACK (TEMPO DE RETORNO DE INVESTIMENTO)

De acordo com Lefley (1996), o Payback é utilizado para verificar o tempo necessário para recuperar os investimentos iniciais do projeto, ou seja, quanto tempo levou até que o projeto rentabilize o valor necessário para cobrir o investimento inicial,

sendo uma métrica recorrentemente utilizada para entender a viabilidade de projetos no que tangibiliza a recuperação de um investimento em relação ao tempo.

Assim sendo, quanto mais rápido o projeto recuperar o seu investimento inicial, mais viável ele é, isto é, quanto mais curto (menor) for o payback, mais rápido será o retorno do investimento e consequentemente o projeto pode crescer de maneira mais acelerada.

4.8.4. TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Taxa Interna de Retorno (TIR) pode ser definida como o valor de taxa para que o valor presente líquido de um investimento se torne igual ao valor presente líquido dos custos envolvidos nesse investimento, isto é, na prática o VPL calculado é igual a zero. Assim sendo, pode-se dizer que a TIR mostra a rentabilidade de um investimento ao relacioná-la com a TMA.

Segundo Buarque (1984), a TIR pode ser formulada de acordo com a equação (31)

$$0 = \sum_{j=1}^n \frac{R_j - C_j}{(1 + TIR)^j} - I \quad (31)$$

Onde: “n” é a duração do projeto (em anos), “j” é o período de ocorrência, “Rj” são as receitas no período, “Cj” são os custos e “I” é o investimento inicial

A taxa mínima de atratividade, segundo Schroeder et al. (2004), diz respeito ao retorno esperado pelos investidores do negócio, ou seja, ela é definida como o valor mínimo para que o negócio seja viável.

Dessa forma, pode-se dizer que com uma TIR superior à TMA, tem-se um negócio atrativo, caso contrário não se considera viável. Para o caso onde a TIR é igual a TMA, tem-se um negócio dentro do esperado (neutro). Conforme citado anteriormente, os negócios de cunho social não têm como objetivo principal a geração de lucro financeiro, portanto nesses casos tem-se uma TMA próxima à zero.

4.8.5. VALOR ANUAL UNIFORME EQUIVALENTE (VAUE)

Os autores Silva e Fontes (2005) afirmam que o VAUE ou VAE é uma forma de interpretar o VPL por meio de parcelas periódicas e contínuas, ou seja, interpretando os valores como um fluxo de caixa constante. Pode-se interpretar que quanto maior o VAE, mais viável é o projeto. A equação (32) define-a como:

$$VAE = \frac{VPL \cdot i}{1 - (1+i)^{-n}} \quad (32)$$

Onde: “n” é a duração do projeto (em anos) e “i” é a taxa de juros.

4.9. COMERCIALIZAÇÃO DA ENERGIA

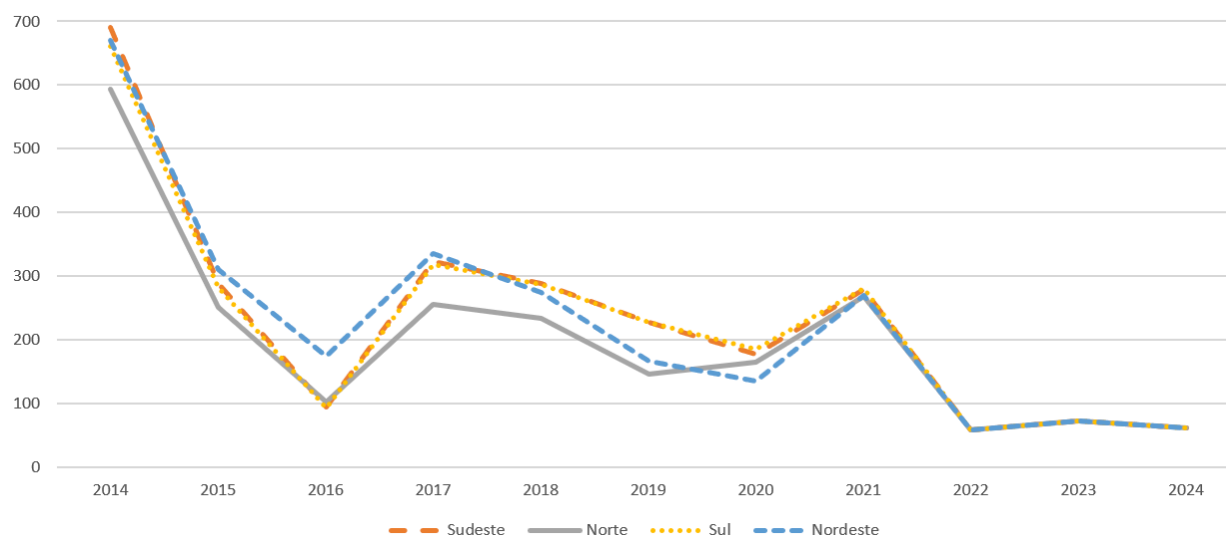
Segundo Greiner (2018), em 1995 foi publicada a Lei 9.074 que permitiu produtores independentes de energia, assim como Consumidores livres de energia, ou seja, os consumidores passaram a ter a liberdade de escolher de quem iriam consumir. Para que isso funcione, existem dois órgãos fundamentais: a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

A Aneel é responsável pela gestão e regulamentação de todo processo de energia no país, da geração à distribuição. Já a CCEE tem como responsabilidades a estruturação e controle dos fluxos de compra e venda, controlando inclusive a lógica de precificação desse mercado.

Nesse contexto, se insere o Ambiente de Contratação Livre (ACL), onde há a possibilidade de se negociar os preços, respeitando-se as normas, através da relação da oferta e demanda entre produtor e consumidor. Portanto, a partir dos pontos descritos, a CCEE define o Preço de Liquidação de Diferenças (PLD), que é basicamente o Preço da Energia no Mercado Livre. Esse preço é dividido por quatro regiões: Sul, Sudeste, Norte e Nordeste e medido em R\$/MWh .

Portanto, pode-se entender que a existência de mais produtores e variedade de escolha para o consumidor, traz mais competitividade para o cenário de produção de energia, criando concorrência às empresas que dominam o setor, assim sendo, o consumidor pode escolher diferentes períodos, fontes e características, o que leva a menores preços e maior adaptabilidade ao mercado.

Figura 22 - Preço Médio Anual (R\$/MWh) da Energia no Mercado Livre de Energia



Fonte: CCEE

A partir do gráfico, pode-se notar que os valores médios caíram ao longo do tempo nos últimos dez anos. Além disso, notava-se uma variação entre as regiões, o que convergiu em função do tempo, tendo-se hoje o mesmo valor. Tomando-se a região sudeste como referência, em 2014 tinha-se em média 690 R\$/MWh, já para a média de 2024 (Janeiro e Fevereiro) tem-se 61 R\$/MWh como média, valor cerca de 10 vezes menor.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados os cálculos realizados a partir das fórmulas já apresentadas nas seções 3 e 4, referentes aos valores de interesse, tanto do dimensionamento do sistema, quanto dos investimentos necessários para a instalação do projeto. Além disso, são exibidos os resultados que permitem a visualização do tempo de retorno dos investimentos para cada cenário proposto, que direcionarão a escolha do melhor modelo por parte dos projetistas.

5.1. SIMULAÇÕES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

As informações essenciais para realizar os primeiros cálculos de estimativa do sistema, que fornecerão apenas um norte para os próximos valores, estão resumidas na tabela 5.

Tabela 5 - Primeira simulação com dados gerais brasileiros de energia

Demanda mensal	45650 MWh
Painel escolhido	WPV-HMM1
Potência por painel	550W
Área do painel	2,58m ²
Área total	1579205,1m ²

Fonte: Autores (2024)

Utilizando esses dados, percebe-se que o sistema é muito grande, tanto em questão energética, quanto em questão de espaço. Isso ocorre porque o consumo médio pode sim apresentar um valor acima de algumas regiões, como muito provavelmente foi o caso mostrado acima. A média de consumo representa o Sudeste brasileiro, mas não necessariamente este consumo reflete a realidade de Heliópolis.

Dada a inviabilidade do projeto com esses dados, a simulação de custos e outros fatores não foi realizada. Portanto, outros dados serão utilizados para realizar as simulações.

As tabelas 6, 7, 8, 9 e 10 sintetizam o cenário 1 simulado, com as especificações detalhadas de energia mensal consumida, especificações dos componentes, compatibilidade dos equipamentos e custo final necessário.

Tabela 6 - Cenário 1 para o dimensionamento do projeto

Energia, potência e módulos	
E_M (kWh)	9.666.000
E_FV	9.666.000
I_RS (kWh/m²/dia)	4,42
n_total	0,8767296
P_FV (W)	83145279,46
N_FV	251955,3923
N_AJST	251956
P_FV_AJST(W)	83145480
A_TOTAL (m²)	488794,64

Fonte: Autores (2024)

Tabela 7 - Especificações do painel 330W - OSDA - ODA330-36-P

Características FV	
P_NOM (W)	330
V_OC (V)	44,72
I_SC (A)	9,57
V_MPP (V)	37,26
I_MPP (A)	8,86
alfa (%/°C)	-0,003
Área (m²)	1,94

Fonte: Autores (2024)

Tabela 8 - Especificações do inversor Growatt 3kW monofásico 220V 2MPPT

Características INVERSOR			
P_CA (W)	3000		
N_MPP	2		
V_FAIXA (V)	80		500
V_OC_MAX (V)	500		
V_CA_INV (V)	230		
V_CC_NOM (V)	360		
n_inv	0,982		
P_MAX_MPP (W)	4200		

Fonte: Autores (2024)

Tabela 9 - Verificação de compatibilidade dos equipamentos (Módulo 330W)

Comparação (Resultados do Arranjo / Escolha do inversor)				
Variáveis	Fileiras	Inversor		Situação
OPE_MPP (V)	298,08	80	500	OK
OPE_V_MAX (V)	379,2256		500	OK
P_MAX_MPP (W)	1320		2100	OK

Fonte: Autores (2024)

Tabela 10 - Custo final para modelo de geração compartilhada (Módulo 330W)

Custo dos componentes			
Componente	Preço Unitário	Quantidade	Preço Final
Painéis	R\$ 449,00	251956	R\$ 113.128.244,00
Inversores	R\$ 2.100,00	15748	R\$ 33.070.800,00
Proteção	-	-	R\$ 14.619.904,40
Total	-	-	R\$ 160.818.948,40

Fonte: Autores (2024)

Esses resultados mostraram que o custo é elevado, para um investimento inicial, e que a área total para instalar os painéis ainda é muito grande. Deste modo, foram pensadas estratégias que alterassem esses dois fatores. Para isso, utilizou-se outro módulo fotovoltaico, de 580W da OSDA ODA580-36V-MHD, este que possui um preço muito parecido com o primeiro, mas entrega uma potência muito maior ao sistema. Mesmo que ele apresente uma área maior que o outro painel, como o sistema simulado continuou com a mesma demanda inicial, a quantidade de painéis será muito menor, assim a área diminuirá e os custos também. As novas especificações serão exibidas, pois a mudança do módulo FV acarretou em mudanças no inversor, para suportar as especificações maiores, por isso, o modelo escolhido foi o Inversor On Grid Deye Sun-5kW-220V.

As tabelas 11, 12, 13, 14 e 15 fornecem os dados do cenário 2, com as especificações detalhadas de energia mensal consumida, especificações dos componentes, compatibilidade dos equipamentos e custo final necessário.

Tabela 11 - Cenário 2 para o dimensionamento do projeto

Energia, potência e módulos	
E_M (kWh)	9.666.000
E_FV	9.666.000
I_RS (kWh/m²dia)	4,42
n_total	0,87048
P_FV (W)	83742219,93
N_FV	144383,1378
N_AJST	144384
P_FV_AJST(W)	83742720
A_TOTAL (m²)	372510,72

Fonte: Autores (2024)

Tabela 12 - Especificações do painel 580W da OSDA ODA580-36V-MHD

Características FV	
P_NOM (W)	580
V_OC (V)	51,06
I_SC (A)	14,46
V_MPP (V)	42,37
I_MPP (A)	13,69
alfa (%/°C)	-0,003
Área (m²)	2,58

Fonte: Autores (2024)

Tabela 13 - Especificações do Inversor On Grid Deye Sun-5kW-220v

Características INVERSOR			
P_CA (W)	5000		
N_MPP	2		
V_FAIXA (V)	70		550
V_OC_MAX (V)	550		
V_CA_INV (V)	230		
V_CC_NOM (V)	300		
n_inv	0,975		
P_MAX_MPP (W)	5500		

Fonte: Autores (2024)

Tabela 14 - Verificação de compatibilidade dos equipamentos (Módulo 580W)

Comparação (Resultados do Arranjo / Escolha do inversor)				
Variáveis	Fileiras	Inversor		Situação
OPE_MPP (V)	338,96	70	550	OK
OPE_V_MAX (V)	432,9888	550		OK
P_MAX_MPP (W)	2320	2750		OK

Fonte: Autores (2024)

Tabela 15 - Custo final para modelo de geração compartilhada (Módulo 580W)

Custo dos componentes			
Componente	Preço Unitário	Quantidade	Preço Final
Painéis	R\$ 549,00	144384	R\$ 79.266.816,00
Inversores	R\$ 2.580,00	9024	R\$ 23.281.920,00
Proteção	-	-	R\$ 10.254.873,60
Total	-	-	R\$ 112.803.609,60

Fonte: Autores (2024)

Percebe-se agora que o sistema projetado para os novos módulos e inversores está em condições de funcionamento, como mostra a tabela 11 da compatibilidade dos equipamentos. Além disso, o novo valor é muito menor que o primeiro resultado apresentado, com uma redução significativa de 35,5% do investimento na primeira simulação. Porém, o problema identificado na metodologia aparece nos cenários 1 e 2, pois a área total necessária para ambos é maior que a área útil dos locais selecionados na comunidade.

Para o terceiro e último cenário, de autoconsumo local, os dados são exibidos na tabela 16, 17, 18, 19 e 20, com as especificações do novo inversor, característica do consumo residencial, e custos para este novo sistema. Nota-se que o custo foi calculado considerando um kit disponível no mercado com duas placas solares da mesma utilizada na simulação, e também com o microinversor utilizado, disponível no site da NeoSolar Energia.

Tabela 16 - Cenário 3 para o dimensionamento do projeto

Energia, potência e módulos	
E_M (kWh)	154,6560
E_FV (kWh)	154,6560
I_RS (kWh/m²dia)	4,42
n_total	0,85293648
P_FV (W)	1367,434585
N_FV	2,357645836
N_AJST	3
P_FV_AJST(W)	1740
A_TOTAL (m²)	7,74

Fonte: Autores (2024)

Tabela 17 - Especificações do Inversor On Grid Deye SUN2.25kW-220v

Características INVERSOR			
P_CA (W)		2250	
N_MPP		4	
V_FAIXA (V)	20		60
V_OC_MAX (V)		60	
V_CA_INV (V)		220	
V_CC_NOM (V)		176	
n_inv		0,965	
P_MAX_MPP (W)		600	

Fonte: Autores (2024)

Tabela 18 - Verificação de compatibilidade para autoconsumo (Módulo 580W)

Comparação (Resultados do Arranjo / Escolha do inversor)				
Variáveis	Fileiras	Inversor		Situação
OPE_MPP (V)	42,37	20	60	OK
OPE_V_MAX (V)	54,1236		60	OK
P_MAX_MPP (W)	145		150	OK

Fonte: Autores (2024)

Ao utilizar os valores obtidos na tabela 16, o número aproximado de painéis por instalação que garante a disponibilidade de energia, de acordo com a média utilizada, é

3. Entretanto, nota-se que o número sem aproximação é 2,3 painéis por residência, o que torna o sistema mais próximo de ser dimensionado com 2 ao invés de 3. Neste caso, sabendo das eficiências presentes nos cálculos e da constante alteração do clima e irradiação solar, não é possível garantir o suprimento de energia total com 2 painéis. Entretanto, é conhecido que a presença somente desta quantidade já auxilia na redução considerável da conta de energia de cada residência. Por este motivo, considera-se os dois cenários para o levantamento de gastos nas tabelas 19 e 20, respectivamente.

Tabela 19 - Custo final para o cenário de autoconsumo local (2x580W)

Custo dos componentes			
Componente	Preço Unitário	Quantidade	Preço Final
Painéis	R\$ 549,00	2	R\$ 1.098,00
Inversores	R\$ 2.139,00	1	R\$ 2.139,00
Total Heliópolis			R\$ 202.312.500

Fonte: Autores (2024)

Tabela 20 - Custo final para o cenário de autoconsumo local (3x580W)

Custo dos componentes			
Componente	Preço Unitário	Quantidade	Preço Final
Painéis	R\$ 549,00	3	R\$ 1.647,00
Inversores	R\$ 2.139,00	1	R\$ 2.139,00
Total Heliópolis	-	-	R\$ 236.625.000

Fonte: Autores (2024)

O preço final, então, foi obtido a partir do produto entre o custo individual pelo número de famílias de Heliópolis. Destaca-se que o custo deste modelo apresenta o maior valor simulado dos três cenários apresentados, devido ao número de inversores utilizados nesse modelo ser muito maior que qualquer outro simulado, já que cada sistema, separadamente, necessita de um microinversor. Assim, nos outros sistemas, o inversor on grid utilizado era capaz de suportar até 16 módulos fotovoltaicos, enquanto este suporta apenas 4, o que torna sua quantidade total maior que anteriormente.

5.2. MODELO DE NEGÓCIO E VIABILIDADE FINANCEIRA

5.2.1. REDE DE PARCEIROS

Para a rede de parceiros, se definem investidores, parceiros e fornecedores. Como investidores para o negócio, são fundamentais dois pilares principais: capital privado e governamental.

O Capital privado é fundamental para o funcionamento da iniciativa, sendo a maior fonte de investimentos de iniciativas sociais. Na iniciativa em questão, um potencial investidor é o BV, que faz parte do ecossistema de investimentos da Favela Marte, auxiliando no projeto de produção de energia fotovoltaica na comunidade, além de ser um dos maiores bancos do Brasil. Ademais, investidores anjos podem ser utilizados através de pessoas filantrópicas e interessadas a serem captadas durante a iniciativa.

Como capital público, o BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) atua como um órgão que financia iniciativas. Para a obtenção do capital, um forte argumento a ser utilizado é o impacto social e minimização do efeito das ligações clandestinas. Além disso, a Prefeitura de São Paulo entra como possível investidora, uma vez que engloba a comunidade, assim como o caso da favela Marte em São José do Rio Preto

Os fornecedores entram como parceiros estratégicos no que se diz às placas fotovoltaicas e estruturação da praça para geração de energia, uma vez que esse é o produto do negócio. Portanto, no caso em questão o principal fornecedor seria a NeoSolar Energia, renomado portal B2B de venda de placas solares e circuitos. Devido ser uma causa social, é possível negociar preços a fim de redução de custos para maior viabilidade do projeto.

Os Parceiros estratégicos, além destes fundamentais para a iniciativa, são: Petrobras, Sabesp, Artemísia, ENEL e a UNAS. A Petrobras e a Sabesp são parceiros fundamentais pois possuem terrenos e atuação na comunidade, portanto, uma proximidade e apoio destes órgãos facilitaria na instalação e aceitação da iniciativa com conhecimento, fornecimentos e concessões e potencialmente investimentos financeiros em troca de divulgação, energia limpa e apoio social.

A Artemísia é uma reconhecida aceleradora de negócios e responsável por facilitar a instalação e resolução de problemas e possui alguns escopos de atuação, sendo energia e empregabilidade dois deles. Portanto, o escopo do projeto é conectado com essas atuações.

A ENEL é um parceiro fundamental devido ser a concessionária de energia para Heliópolis, portanto, toda movimentação e decisão é influenciada pelas ações da empresa, sendo necessário alinhamento para a resolução de problemas e redução das ligações clandestinas.

Por fim, a UNAS é influente na comunidade, tendo como missão o desenvolvimento social e econômico de Heliópolis. Assim sendo, com essa parceria se espera aceitação da comunidade, como por exemplo: conexão com a população local para geração de empregos, conversas para entendimento das características locais, divulgações.

5.2.2. COMPETÊNCIAS DA EMPRESA

O Conhecimento de Contexto da iniciativa é descrito por todas as características da comunidade de Heliópolis. Portanto, os beneficiários da iniciativa são a própria população da comunidade. Nesse contexto, surge o risco da não aceitação da chegada de novos investimentos e empreendimentos. Para mitigar esse risco, conecta-se o conhecimento de negócio às pessoas.

Para maior aceitação, serão contratadas pessoas com conhecimento técnico de energia fotovoltaica e todo o seu processo (instalação e manutenção). Essas pessoas serão responsáveis, em parceria com a UNAS, pelo treinamento de membros da população local. Esses serão inicialmente treinados e posteriormente contratados, gerando-se então empregos e propagação de conhecimento. Além disso, o projeto contratará pessoas localmente influentes para disseminar o impacto positivo e consequentemente a aceitação.

Ainda em parceria com a UNAS, serão realizadas campanhas de marketing local com os impactos da iniciativa e perigos das ligações clandestinas, visando reduzir novas ligações e o desligamentos de ligações já existentes.

5.2.3. PROPOSIÇÃO DO VALOR

Na iniciativa, o produto em questão é a energia elétrica, a qual o intuito é reduzir os custos da comunidade e consequentemente desincentivando as ligações clandestinas.

De acordo com o cunho social do negócio, a energia não será comercializada, mas sim destinada a uso próprio e local. Para aumentar a propagação dessas negociações, serão utilizadas divulgações e marketing demonstrando os objetivos e boas práticas do modelo de negócio, estabelecendo-se uma boa relação com a comunidade. Com a geração de energia para a comunidade, os clientes são os próprios moradores da região, que poderão abater as suas contas de energia por meio da energia fornecida pelas placas solares instaladas. Destaca-se que esse grupo têm um benefício em dobro, visto que consomem e ao mesmo tempo são empregados, ampliando o impacto social da prática.

Tabela 21 - Relação Produto x Cliente do Modelo de Negócio

Produto	Cliente	Objetivo
Energia de qualidade fornecida à comunidade	Moradores da Região	Redução das contas de luz desincentivando as ligações clandestinas

Fonte: Autores (2024)

5.2.4. EQUAÇÃO DO LUCRO ECONÔMICO

A partir do método descrito, foi possível realizar o levantamento dos custos estimados na instalação e manutenção do sistema para os diferentes cenários. Para todos os cenários foram utilizadas algumas premissas e custos em comum, sintetizados na tabela 22.

Tabela 22 - Premissas para cálculo do Número de pessoas e Salário de Instalação

Tempo para Instalar Placa	6 horas
Tempo de Trabalho por Pessoa	250 dias/ano
Tempo de Trabalho por Pessoa	8 horas/dia
Tempo de trabalho por pessoa	2000 horas/ano
Anos de Instalação	1 ano
Total de Horas trabalhadas por pessoa	2000 horas
Placas Instaladas por pessoa	333,3 placas/pessoa
Salário Médio por pessoa	5000 R\$/pessoa

Fonte: Autores (2024)

Portanto, com os diferentes cenários, varia-se o número de placas e consequentemente necessita-se de mais ou menos pessoas, tendo-se então os custos relacionados ao primeiro ano na tabela 23 (instalação do sistema):

Tabela 23 - Custos com mão de obra para Instalação dos sistemas para cada cenário

Crítérios	Autoconsumo	Ger. Comp. (330W)	Ger. Comp. (585W)
Qtd. Placas	187.500	251.956	144.384
Qtd. Pessoas	563	756	434
Custo Anual	R\$ 33.780.000,00	R\$ 45.360.000,00	R\$ 26.040.000,00

Fonte: Autores (2024)

Conforme citado anteriormente, também demonstra-se os custos dos próprios dispositivos a serem instalados, que variam com a quantidade de placas e necessidade de geração. Resumidamente, tem-se os valores mostrados na tabela 24.

Tabela 24 - Custos com Dispositivos para Instalação dos sistemas para cada cenário

Tipo de GD	Autoconsumo	Ger. Comp. (330W)	Ger. Comp. (585W)
Custos	R\$ 236.625.000,00	R\$ 160.818.948,40	R\$ 112.803.609,60

Fonte: Autores (2024)

Além desses custos de instalação, tem-se também os custos de manutenção do sistema (a partir do primeiro ano ou ano zero), que foram estimados considerando fixamente 300 pessoas, independente dos cenários:

Tabela 25 - Custos com mão de obra para manutenção dos sistemas

Quantidade de Pessoas	300
Salário Médio	R\$ 5.000,00
Custo Anual Manutenção	R\$ 18.000.000,00

Fonte: Autores (2024)

Os demais custos foram desconsiderados, visto que são menos significativos e semelhantes entre os cenários, não alterando-se significativamente a análise.

Para o cálculo das Receitas economizadas, utilizou-se os dados da tabela 2, na qual a população da comunidade economiza as tarifas TUSD e TU comercializadas. Juntamente, tem-se a demanda energética estimada, sendo a mesma para todos os cenários, conforme a tabela 26:

Tabela 26 - Economia com a instalação do negócio social

Consumo (MWh)	9.666
TUSD (R\$/MWh)	R\$ 396,03
TU (R\$/MWh)	R\$ 260,46
Percentual Máximo de Economia	95%
Economia Anual Total	R\$ 72.340.208,68

Fonte: Autores (2024)

Com relação aos proprietários e acionistas, conforme descrito anteriormente, não objetiva-se o lucro e portanto a energia é fornecida para a comunidade em parceria com alguns órgãos públicos e privados. Portanto, à priori, não há distribuição de lucros financeiros para proprietários e acionistas.

As tabelas 27, 28 e 29 exibem o fluxo de caixa de cada cenário, em um período de 10 anos, a partir dos custos e receitas descritos:

Tabela 27 - Fluxo de Caixa para Geração Compartilhada com Painéis de 580W

Ano	Operação	Custos	Economias	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Atualizado
0	Investimento	R\$ 139 MM	R\$ 0 MM	-R\$ 139 MM	-R\$ 139 MM
1	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 52 MM
2	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 50 MM
3	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 48 MM
4	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 46 MM
5	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 44 MM
6	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 42 MM
7	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 40 MM
8	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 38 MM
9	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 37 MM
10	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 35 MM

Fonte: Autores (2024)

Tabela 28 - Fluxo de Caixa para Geração Compartilhada com Painéis de 330W

Ano	Operação	Custos	Economias	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Atualizado
0	Investimento	R\$ 206 MM	R\$ 0 MM	-R\$ 206 MM	-R\$ 206 MM
1	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 52 MM
2	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 50 MM
3	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 48 MM
4	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 46 MM
5	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 44 MM
6	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 42 MM
7	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 40 MM
8	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 38 MM
9	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 37 MM
10	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 35 MM

Fonte: Autores (2024)

Tabela 29 - Fluxo de Caixa para Autoconsumo

Ano	Operação	Custos	Economias	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Atualizado
0	Investimento	R\$ 270 MM	R\$ 0 MM	-R\$ 270 MM	-R\$ 270 MM
1	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 52 MM
2	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 50 MM
3	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 48 MM
4	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 46 MM
5	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 44 MM
6	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 42 MM
7	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 40 MM
8	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 38 MM
9	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 37 MM
10	Produção	R\$ 18 MM	R\$ 72 MM	R\$ 54 MM	R\$ 35 MM

Fonte: Autores (2024)

Portanto, a partir dos Fluxos de Caixa, conforme a metodologia, foi possível calcular através do excel os indicadores para comparação da viabilidade do investimento em 10 anos, os quais podem ser resumidamente demonstrados na tabela 30.

Tabela 30 - Indicadores Financeiros para Análise de Viabilidade

Indicador	Autoconsumo	Ger. Comp. (330W)	Ger. Comp. (585W)
Investimento inicial	R\$ 270.405.000,00	R\$ 206.178.948,40	R\$ 138.843.609,60
Economia Anual	R\$ 72.340.208,68	R\$ 72.340.208,68	R\$ 72.340.208,68
TIR	15%	23%	38%
TMA	4,50%	4,50%	4,50%
Payback (anos)	5,98	4,79	3,56
VPL	R\$ 159.573.757	R\$ 223.799.809	R\$ 291.135.147
VAUE	R\$ 20.166.743	R\$ 28.283.556	R\$ 36.793.317

Fonte: Autores (2024)

Devido a rentabilidade ser a mesma para todos os casos, o que dita os indicadores diretamente são os investimentos realizados no primeiro ano: basicamente o número de funcionários empregados (folha salarial) e o custo e quantidade de painéis, o que aumenta os custos com equipamentos. Portanto, ao comparar-se com

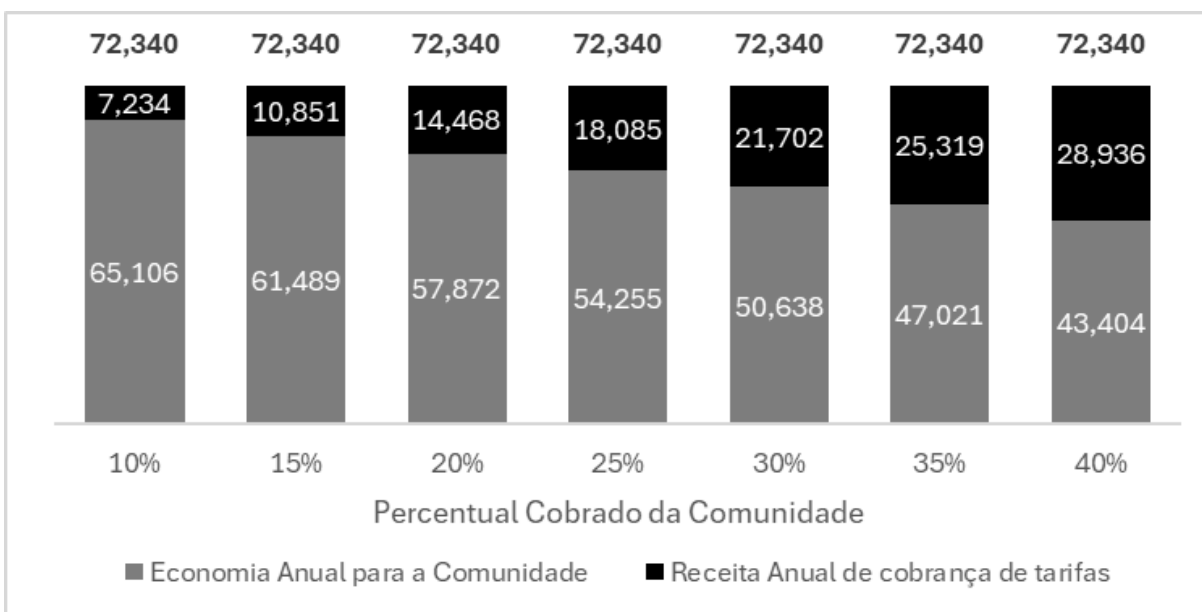
uma taxa mínima de atratividade igual a aproximação da inflação, pode-se observar que a geração compartilhada com painéis de 585 W possui uma TIR elevada e um payback mais curto (o investimento se paga mais rápido). Esses fatores podem ser evidenciados por um maior VPL e maior VAUE, ou seja, os investimentos são mais valiosos ao trazê-los para o presente.

Entretanto, os três cenários são viáveis, obtendo-se no máximo um payback de 5,98 anos. Assim sendo, pode-se discutir fatores qualitativos juntamente dos quantitativos já descritos.

Para viés comparativo, estudou-se cenários diferentes de cobrança de tarifas da População, os quais podem ser utilizados para gerar caixa para possíveis manutenções no sistema, novas instalações e possibilidade de resolução de imprevistos. Nesses cenários, considerou-se percentualmente um valor fixo cobrado da comunidade em função da economia possível, sendo cenários complementares.

Ou seja, para um cenário onde cobra-se 10% do *saving* possível, a comunidade tem 90% desse valor como economia. Portanto, na figura 23 tem-se os diferentes cenários em função das diferentes porcentagens:

Figura 23 - Cenários de Receita de Tarifas em função da Economia Anual para a Comunidade



Fonte: Autores (2024)

Destaca-se que uma cobrança, mesmo que mínima (10% por exemplo) pode ser importante para manter a conscientização da população com relação ao consumo saudável de energia, uma vez que em um cenário o qual a energia é grátis, pode-se haver um consumo exacerbado e desnecessário, o que acarreta em problemas para o meio ambiente e para o projeto, que poderia deixar de ser auto suficiente devido ao uso agora exagerado e não previsto de energia elétrica

5.2.5. IMPACTO SOCIAL

Analisando-se os impactos da implementação da iniciativa da energia fotovoltaica, pode-se observar as relações de impacto social. Inicialmente, destaca-se que os impactados são a população da comunidade como um todo, seja quem vai ser treinado ou seja quem utilizará da energia fornecida. Já os principais impactos da iniciativa são: Treinamento e capacitação da comunidade por meio do ensino de técnicas para trabalho na praça da empresa, geração de energia elétrica limpa por meio das placas fotovoltaicas, Renda e produtividade locais com um novo negócio ocasionando em giro de renda, geração de empregos após os treinamentos garantindo a inclusão dos moradores, melhoria na infraestrutura por intermédio da segurança com a redução de ligações clandestinas que podem causar danos às casas e pessoas.

Portanto, a partir desses impactos listados, pode-se ressaltar o cumprimento de diversos Objetivos de Desenvolvimento Social da ONU de diversas esferas: ambiental, social, econômico e cultural. Como por exemplo, pode-se citar: Erradicação da Pobreza (1), Energia Limpa e Acessível (7), Trabalho Decente e Crescimento Econômico (8), Redução das Desigualdades (10), Cidades e Comunidades Sustentáveis (11) e Parcerias e Meios de Implementação (17).

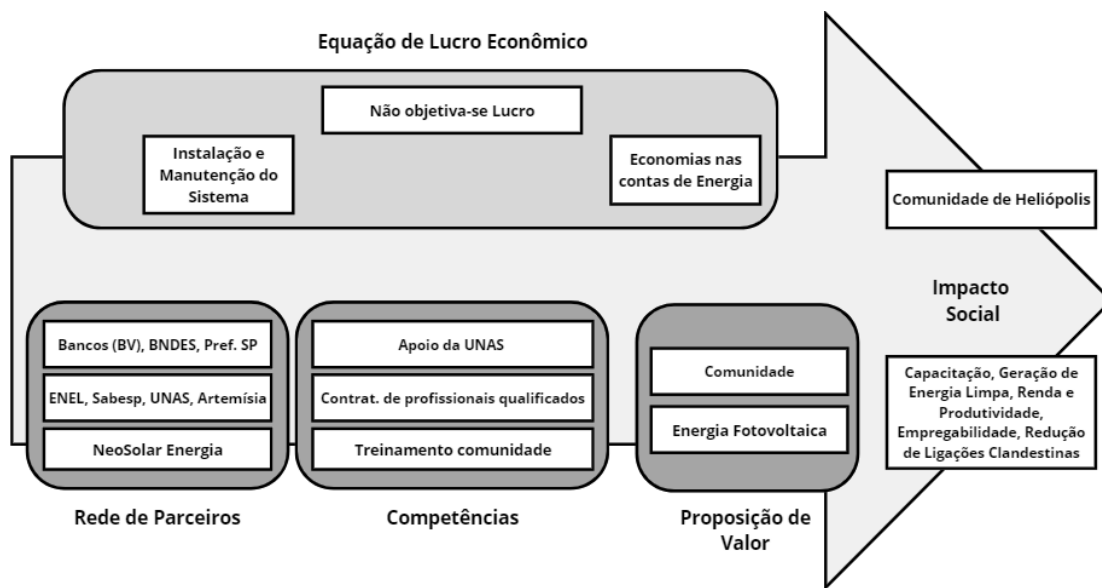
Finalmente, pode-se resumir o modelo de negócio social da implantação de energia fotovoltaica na comunidade de Heliópolis através da tabela 31 e ilustrado na figura 24:

Tabela 31 - Tabela Resumo do Modelo de Negócio Social de Energia Fotovoltaica

Dimensão	Elementos	Fatores na Iniciativa
Rede de Parceiros	Investidores	Capital Privado, Bancos (BV) e BNDES, Prefeitura de SP
	Parceiros	ENEL, Sabesp, Petrobrás, UNAS, Artemísia
	Fornecedores	NeoSolar Energia
Competências	Conhecimento Contexto	Apoio da UNAS: estudo de Heliópolis
	Conhecimento Negócio	Contratação de Profissionais com conhecimento prévio
	Pessoas	Profissionais com conhecimento técnico e treinamento da comunidade
Proposição de Valor	Clientes	Comunidade e População local
	Produtos	Energia Fotovoltaica
Equação do Lucro Econômico	Custos	Instalação e manutenção do sistema
	Receitas	Economia financeira de Contas da Comunidade de Heliópolis
	Proprietário/Acionista	Não objetiva-se Lucro
Impacto Social	Impactados	Comunidade de Heliópolis
	Benefícios Social	Treinamento e Capacitação, Geração de Energia Limpa, Renda e Produtividade, Empregabilidade, Redução de Ligações Clandestinas

Fonte: Autores (2024)

Figura 24 - Descrição do Negócio com base no modelo de Petrini, Scherer e Back (2016)



Fonte: Autores (2024)

6. CONCLUSÃO

O trabalho de conclusão de curso apresentou um modelo de negócios a partir de uma problemática observada na comunidade de Heliópolis, em São Paulo: a utilização de energia elétrica por meio de ligações clandestinas feitas nas redes de distribuição.

A fundamentação teórica do trabalho identifica a necessidade de intervenções sociais para a eliminação destas ligações irregulares, a partir de uma energia renovável, no caso, a energia solar. A localização da comunidade, bem como os avanços tecnológicos graduais dessa energia, permite aplicá-la em contextos como esse, visto a alta irradiação solar do local e a possibilidade de isentar custos de energia elétrica da população, de maneira regularizada e controlada.

Os maiores desafios, vistos inicialmente, seriam encontrar modelos de dimensionamento que fossem atrativos financeiramente, de modo que o projeto se pagasse dentro de um determinado intervalo considerado coerente com o gasto inicial de implementação. Entretanto, ao final do modelo de negócios, observou-se que os três cenários propostos são possíveis, porém, considerando a taxa de retorno da instalação somente para os beneficiados do projeto, no caso, a comunidade.

O investimento oriundo da rede de parceiros não apresenta retorno para os investidores de modo econômico, pois a economia de energia e retorno financeiro é voltado 100% para a comunidade. Mas, quem financia o projeto é atraído pelas motivações sociais e políticas por trás de sua implementação, já que as empresas, como foram citadas no artigo, possuem condições de dar início a implementação com o capital inicial, e aderirem à causas sociais, fornecendo energia de qualidade para uma comunidade com chances menores de conseguir incluir um sistema como esse por conta própria, assim como incentivam e abrem caminhos para as energias renováveis terem maior visibilidade e participação na matriz energética brasileira, tal como o exemplo da Favela Marte em São José do Rio Preto.

Analisando os cenários separadamente, percebe-se que os modelos de geração compartilhada são muito semelhantes quanto ao custo. Mesmo assim, o dimensionamento com as placas de 580W são mais baratas, não somente pela quantidade menor de módulos necessários, mas pelo valor ofertado do fornecedor, que

permite uma produção mais eficiente de energia do que as placas de 380W, a um preço muito parecido. Desta forma, dentre os 3 cenários, a placa de maior potência (cenário 2) se torna o mais atrativo financeiramente, tendo um retorno maior e uma TIR mais atrativa.

Porém, a área necessária para concentrar o sistema fotovoltaico é muito grande. Mesmo que fosse feita as divisões do sistema, posicionando cada string em locais diferentes para totalizar o sistema completo na região, isso não seria possível, pois ainda seria necessário mais espaço. Além disso, esse método não favorece a ideia da geração compartilhada, que é justamente concentrar o sistema em uma só área, para facilitar a manutenção e monitoramento do projeto.

Cabe ressaltar também que, para o modelo em questão, a parte burocrática é muito mais detalhada quando comparada com um modelo de autoconsumo local ou remoto, a qual se divide em diferentes regulamentações dependendo de qual o modelo de consórcio adotado, e quem irá usufruir dos benefícios da geração precisa aderir à fazenda solar por meio da associação do CPF ou CNPJ à união, o que pode não ser um atrativo para estes, gerando mais dificuldades para utilizar da energia gerada e desestimular o interesse dos consumidores.

Para um cenário hipotético com levantamentos de informações mais precisos, maior contato dentro da comunidade para pesquisar sobre a adesão do projeto com o cenário de geração compartilhada, acompanhamento jurídico para compreensão e cumprimento das leis vigentes para tal, conseguindo-se a área suficiente para instalação, certamente esse modelo seria o mais apropriado, apesar de depender de inúmeras variáveis, tratando-se principalmente do custo necessário inicial.

Pensando-se então em maneiras de facilitar, principalmente, as questões sobre normas regulamentadoras, o projeto de autoconsumo local, com cada família tendo um sistema único em suas residências, surge como uma alternativa para o cenário de geração compartilhada. Na questão de espaço, é possível instalar cada string sem nenhuma complicação, visto que a área para cada casa, separadamente, é pequena, e pode ser instalado sem uma alteração prévia do espaço.

Além disso, as mudanças exigidas para a instalação seriam apenas do relógio bidirecional, algo que já é alterado pelas distribuidoras quando há a presença de

geração de energia solar nas residências. Como no levantamento de dados não foi obtido as características da rede, referente a seu nível de tensão, alguns parâmetros para os cenários anteriores ainda dependem desse levantamento.

Já no cenário em questão, o inversor escolhido atua tanto para modelos monofásicos, quanto bifásicos, de modo que nenhum custo precise ser alterado, enquanto os modelos de geração compartilhada podem ainda depender desses valores, bem como os custos adicionais de linhas de transmissão para enviar a energia produzida nas fazendas para a região, caso a fazenda precise de instalações mais distantes.

Não havendo também a necessidade de aderir a um CNPJ da geração compartilhada, por meio de “lotes”, já que o sistema é ligado diretamente no sistema elétrico residencial, não há também nenhuma norma exclusiva a ser seguida do modelo de geração compartilhada, o que facilita a adesão da comunidade, que não passaria por nenhum processo burocrático mais demorado.

Deste modo, o cenário 3 (autoconsumo local) apresenta inúmeras vantagens comparado aos outros dois, e ainda apresenta o projeto em uma realidade mais possível, utilizando um espaço já conhecido e dentro dos parâmetros calculados, além de não exigir a fundo nenhuma lei diferente das já estabelecidas no modelo residencial.

Entretanto, mesmo com essas vantagens, este difere com relação ao valor de investimento inicial. Como já comentado, cada residência necessita de um microinversor neste modelo, o que impede que o número máximo de placas seja conectado ao dispositivo, e só assim uma nova string seja criada. O total de placas que pode ser ligada ao conversor é 4, mas os modelos usam uma média menor, de 2,3 por residência, o que aumenta consideravelmente o número total deste equipamento, e encarece o projeto.

Portanto, para este modelo em específico, a capitalização de recursos ao longo dos anos aparece como uma solução, através de um contrato pré-estabelecido entre a empresa responsável pelo projeto e a população. Este valor, considerado um retorno sobre o investimento inicial, possibilita a criação de um fluxo de caixa para a empresa que permite também a manutenção do sistema em vigência, pois em qualquer

situação, seja por condições climáticas ou falhas no sistema, é necessária a troca de equipamentos, que só poderia ser feita com mais investimentos.

Assim, supondo o projeto em funcionamento, existem várias alternativas para realizar essa capitalização; dentre elas, pode-se citar um modelo de redução gradual da taxa de cobrança da comunidade, o qual inicialmente retorna de 30 a 40% nos primeiros 3 anos, e reduz de 5 em 5% ou de 10 em 10% ao longo do tempo, até esta estabilizar em um valor mínimo. Tal valor pode ser alocado para a manutenção do projeto, mas pode também retornar ao investidor, tornando o projeto ainda mais atrativo e financeiramente viável para as empresas parceiras.

Apesar do modelo de negócios proposto se mostrar viável financeira e socialmente, é trivial destacar que existem limitações no processo de desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso.

Pode-se destacar como dificuldades encontradas em seu andamento: o curto prazo de desenvolvimento, a dificuldade de obtenção de dados acerca de ligações clandestinas e da comunidade de Heliópolis, principalmente com relação à localidade e especificidade e a “inovabilidade” da proposta com a existência de poucos *benchmarkings*.

Além disso, para cálculos da projeção do sistema energético fotovoltaico e da viabilidade financeira do negócio, foram utilizadas algumas premissas que podem afetar o cálculo por meio de erros ao longo do tempo e/ou variações de valores, como por exemplo o tempo médio de instalação das placas para cálculo do número de trabalhadores necessários, a desconsideração de alguns custos envolvidos no processo de instalação e manutenção do sistema, como por exemplo perdas, custos logísticos e falhas no processo, custos de treinamento, custos regulatórios, custos financeiros (como por exemplo financiamentos), entre outros.

Entretanto, mesmo com as limitações encontradas, foi possível parametrizar e propor um modelo de negócios que viabiliza energia fotovoltaica para a comunidade e por consequência espera-se a diminuição da existência das ligações clandestinas de energia. A principal problemática desse modelo de negócios são os elevados custos para a instalação e funcionamento, o que é justificado pelos altos ganhos sociais para a comunidade em questão, cabendo-se aos investidores a avaliação final desse aporte.

Por fim, entendendo-se os potenciais impactos positivos que a iniciativa tem na comunidade, reforçado pelo sucesso da iniciativa da Favela Marte, fica a provocação do desenvolvimento e ampliação do estudo realizado, seja através da ampliação novas zonas necessitadas ou da implementação prática desses casos, o que por sua vez pode trazer uma redução na desigualdade e melhoria na qualidade de vida dessas populações.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Programa de eficiência energética - PEE. **Revista de Eficiência Energética**, 3a edição, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL), **Relatório de Perdas de Energia Elétrica na Distribuição**, 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 1.000/2021. Estabelece as normas e condições gerais de contratação de energia elétrica**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 07 de dezembro de 2021. Disponível em: <[Resolução Normativa nº 1.000/2021](#)>. Acesso em: 03 mar 2024.

BANDEIRA, F. De P. M. **Aproveitamento da energia solar no Brasil: Aproveitamento e perspectivas**, 2012.

BENEDITO, R.; MACEDO, W. N.; ZILLES, R. **A produção de eletricidade com sistemas fotovoltaicos conectados à rede: barreira econômica, pontos de conexão e mecanismos de incentivo**. In: II Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2008, Florianópolis. **Anais**. ABENS, 2008.

BONAZZI, Fábio Luiz Zandoval; ZILBER, Moises Ari. Inovação e Modelo de Negócio: um estudo de caso sobre a integração do Funil de Inovação e o Modelo Canvas. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, v. 16, p. 616-637, 2014.

BRASIL. Código Penal. **Decreto-Lei nº 2.848, de 7 de dezembro de 1940. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo**, Brasília, DF, 31 dez. 1940. Disponível em: <[Decreto-Lei nº 2.848, de 7 de dezembro de 1940. Diário Oficial \[da\] República Federativa do Brasil. Poder Executivo](#)>. Acesso em: 03 mar 2024

BUARQUE, C. **Avaliação econômica de projetos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1984.

CAMPOS, Mateus Mautone; BRAGA, Luis Gustavo Schröder. **O futuro do Mercado livre de energia no Brasil**. 2020.

CARI, E, P, T. **Introdução à sistemas fotovoltaicos, dimensionamento e instalação**, 2020.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). **Painel de Preços**, 2024. Disponível em: <[Painel de Preços](#)>. Acesso em: 23 mar 2024

DASSI, Jonatan Antonio et al. Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil. In: **Anais do congresso Brasileiro de Custos-ABC**. 2015.

DONADEL, C. B.; SOUSA, G ; VAREJÃO, F. M. **Influence of Clandestine Connections on Energy Loss Evaluation in Electrical Distribution Networks**. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE, v. 1, n. 1, 2020.

DORNELAS, José Carlos Assis. **Empreendedorismo**. Elsevier Brasil, 2008.

EDP Brasil. **EDP alerta sobre os riscos das ligações clandestinas**, 2018. Disponível em: <[EDP alerta sobre os riscos das ligações clandestinas](#)>. Acesso em: 03 mar 2024

ESPOSITO, A, S; FUCHS, P, G. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. **Revista do BNDES**, **40**, 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE. **Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (regiões e subsistemas)**, 2024. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>>. Acesso em 20 abr 2024.

FETT, Felipe Mendes. **Viabilidade financeira de projeto de um gerador eólico em minigeração distribuída**. 2019.

FRANCO, A, P. **Sistemas fotovoltaicos: Contextualização e perspectivas para sua massificação no Brasil**, 2012

FRIEDRICH, João; BRONDANI, Gilberto. Fluxo de caixa—sua importância e aplicação nas empresas. **Revista eletrônica de contabilidade**, v. 2, n. 2, p. 135-135, 2005.

GREINER, P. Abertura ao capital privado. In: **20 Anos do Mercado Brasileiro de Energia Elétrica**. [S.l.]: CCEE, 2018.

KALLÁS, David. **Inovação em modelo de negócios: forma e conteúdo**. 2012.

KRUGER, Silvana Dalmutt; ZANELLA, Cleunice; BARICHELO, Rodrigo. **Análise da viabilidade econômico-financeira para implantação de projeto de produção de**

energia solar fotovoltaica em uma propriedade rural. Revista de Gestão e Secretariado, v. 14, n. 1, p. 428-445, 2023.

LAVEZZO, C.A. L. Fontes de energia. **Revista Eletrônica Gestão em Foco**, p. 102-126, 2016.

LEITE, Emanuel Ferreira. **O fenômeno do empreendedorismo**. Saraiva Educação SA, 2017.

LEFLEY, Frank. **The payback method of investment appraisal: A review and synthesis**. International Journal of Production Economics, v. 44, n. 3, p. 207-224, 1996.

MESTRE, Ana Paula. **Sentidos da modernização na periferia da metrópole : o consumo de energia elétrica na economia dos pequenos em Heliópolis-SP**. Tese de Doutorado em Geografia – Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, 2015.

NISHI, Marcos Hiroshi et al. Influência dos créditos de carbono na viabilidade financeira de três projetos florestais. **Revista Árvore**, v. 29, p. 263-270, 2005.

OLIVEIRA, Edson Marques. Empreendedorismo social no Brasil: atual configuração, perspectivas e desafios—notas introdutórias. **Revista da FAE**, v. 7, n. 2, 2004.

OSTERWALDER, Alexander; PIGNEUR, Yves; MOVEMENT, T. Inovação em modelos de negócios. **Rio de Janeiro-RJ: Alta Books**, v. 3, 2011.

PARENTE, Cristina et al. **Empreendedorismo social: contributos teóricos para a sua definição**. 2011.

PENIN, Carlos Alexandre de Sousa. **Combate, prevenção e otimização das perdas comerciais de energia elétrica**. 2008. Tese (Doutorado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2008. doi:10.11606/T.3.2008.tde-14082008-092248. Acesso em: 2024-03-03.

PETRINI, Maira; SCHERER, Patrícia; BACK, Léa. Modelo de negócios com impacto social. **Revista de Administração de Empresas**, v. 56, p. 209-225, 2016.

ROCHA, Gláucia Veloso. **Viabilidade financeira de projetos de geração de energia elétrica a partir do biogás produzido em aterros sanitários no estado de São Paulo**. 2023.

ROSOLEN, Talita; TISCOSKI, Gabriela Pelegrini; COMINI, Graziella Maria. Empreendedorismo social e negócios sociais: Um estudo bibliométrico da produção nacional e internacional. **Revista Interdisciplinar de gestão social**, v. 3, n. 1, 2014.

SANTOS, PAULA DA SILVA; LOPES, JOSÉ CARLOS DE JESUS. **Análise dos fatores que induzem o consumidor de energia elétrica a utilizar-se de ligações clandestinas e fraudulentas**. ENGEMA–Encontro internacional sobre gestão empresarial e meio ambiente–Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), 2016.

SCHROEDER, Jocimari Tres et al. **O custo de capital como taxa mínima de atratividade na avaliação de projetos de investimento**. Revista Gestão Industrial, v. 1, n. 2, 2005.

SCHUMPETER, Joseph Alois. **Capitalismo, socialismo e democracia**. Edipro, 2023.

SHANE, Scott; VENKATARAMAN, Sankaran. The promise of entrepreneurship as a field of research. **Academy of management review**, v. 25, n. 1, p. 217-226, 2000.

SILVA, Maíra Aparecida da. **Ligações clandestinas em redes de distribuição elétrica: aspectos técnicos, econômicos e de segurança**. 2020.

SILVA, Márcio Lopes da; FONTES, Alessandro Albino. **Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valor esperado da terra**. Revista Árvore, v. 29, p. 931-936, 2005.

SOARES, C, C. **Heliópolis - Práticas Educativas na Paisagem**. São Paulo, 2010.

SOLAR, I. **Linha do Tempo da Regulação da Geração Distribuída no Brasil | Inovacare SOLAR**. Disponível em: <https://inovacare.solar/publicacao/linha-do-tempo-da-regulacao-da-geracao-distribuida-no-brasil/113>. Acesso em: 2 dez. 2023.

SOUZA, Gabriela Romana; DA PENHA, Roberto Silva. Viabilidade econômica de um projeto de investimento de energia fotovoltaica. **RAGC**, v. 8, n. 35, 2020.

VILLALVA, M, G. **Energia Solar Fotovoltaica - Conceitos e aplicações**. 2012.

VIEIRALVES, E. X. **Proposta de uma metodologia para avaliação das perdas comerciais dos sistemas elétricos. O caso de Manaus**. 2005. Dissertação (Mestrado

em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, SP, 2005.

ZILLES, R. **Energia Solar Fotovoltaica**, 2012.

Eficiência energética nas favelas. Disponível em: <<https://rioonwatch.org.br/?p=67465>>. Acesso em 20 abr 2024.

Energia Solar já é realidade em favela de São Paulo. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/energia-solar-ja-e-realidade-em-favela-de-sao-paulo/>>. Acesso em 5 mar 2024.

‘Energia Solar Nas Favelas é Possível?’ Debatido pelo GT Solar da Rede Favela Sustentável. Disponível em: <<https://rioonwatch.org.br/?p=48205>>. Acesso em 7 mar 2024.

Geração centralizada de energia solar: o que se deve saber? Disponível em <<https://www.portalsolar.com.br/geracao-centralizada-de-energia-solar>>. Acesso em: 30 mar 2024.

G1. Homem morre eletrocutado ao tentar fazer ligação clandestina na rede elétrica de Nova Iguaçu. Disponível em: <[Homem morre eletrocutado ao tentar fazer ligação clandestina na rede elétrica de Nova Iguaçu](#)>. Acesso em: 16 mar 2024.

G1. Prejuízo de 'gato' feito por empresa da Grande SP abastecerá 60 mil famílias por um mês e será pago por todos os clientes de SP, diz Enel. Disponível em: <[Prejuízo de 'gato' feito por empresa da Grande SP abastecerá 60 mil famílias por um mês e será pago por todos os clientes de SP, diz Enel](#)>. Acesso em: 7 mar 2024

Heliópolis - Maior favela de São Paulo. Disponível em <[heliópolis - maior favela de são paulo](#)>. Acesso em: 26 fev 2024.

IBGE. **"Entenda a Inflação."** Disponível em: <[Entenda a Inflação](#)>. Acesso em: 16 abr 2024.

Projeto instala placas solares em favelas do Rio, SP e na Amazônia. Disponível em: <<https://umsoplaneta.globo.com/energia/noticia/2023/06/03/projeto-instala-placas-solar-es-em-favelas-do-rio-sp-e-na-amazonia.ghmtl>>. Acesso em 9 mar 2024.

Tarifas para o Fornecimento de Energia Elétrica Resolução Homologatória N° 3.053/2023 da ANEEL - Válidas a partir de 04/07/2023. Disponível em: <[Tarifas para o Fornecimento de Energia Elétrica Resolução Homologatória N° 3.053/2023 da ANEEL - Válidas a partir de 04/07/2023](#)> Acesso em: 16 abr 2024