



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE
IMPLANTAÇÃO DE USINA FOTOVOLTAICA COMO USO
FUTURO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA POR
PEDREIRA**

GABRIEL MURMANN LEHN

Porto Alegre

Setembro 2023

GABRIEL MURMANN LEHN

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE USINA
FOTOVOLTAICA COMO USO FUTURO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREA
DEGRADADA POR PEDREIRA

Trabalho de conclusão apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de engenheiro ambiental.

Orientador: Prof. Maurício Andrades Paixão

Porto Alegre

Setembro 2023

CIP - Catalogação na Publicação

LEHN, GABRIEL
ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE USINA
FOTOVOLTAICA COMO USO FUTURO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREA
DEGRADADA POR PEDREIRA / GABRIEL LEHN. -- 2023.
93 f.
Orientador: Maurício Andrades Paixão.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia
Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. usina fotovoltaica. 2. recuperação de áreas
degradadas. 3. impactos ambientais. 4. geração de
energia. 5. viabilidade financeira. I. Andrades
Paixão, Maurício, orient. II. Título.

GABRIEL MURMANN LEHN

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE USINA
FOTOVOLTAICA COMO USO FUTURO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREA
DEGRADADA POR PEDREIRA

Trabalho de conclusão apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de engenheiro ambiental.

Aprovado em **06/09/2023** pela Comissão avaliadora constituída pelos professores:

Banca Examinadora:

.....

Prof. Dr. Maurício Andrades Paixão

Orientador

.....

Prof. Dr. Alexandre Beluco – Departamento de Hidromecânica e Hidrologia

Examinador

.....

Prof. Dr. Maria Cristina de Almeida Silva – Departamento de Obras Hidráulicas

Examinadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, por serem meus melhores amigos, por ser fonte inesgotável de apoio e por ter tornado toda essa trajetória possível, estando ao meu lado nos momentos mais difíceis do percurso. Em especial ao meu pai, David, à minha mãe, Edimeia, e à minha irmã, Valentina, os quais compartilharam e serenaram as mais intensas emoções durante todo o período, sendo fontes irradiadoras de amor. Sempre os levarei com orgulho no meu coração.

Agradeço aos amigos que formei durante os anos de graduação, especialmente aqueles mais próximos. Amigos são os irmãos que escolhemos ao longo de nossa jornada e eu não poderia ter feito escolhas mais assertivas, as quais garantiram leveza nos momentos mais penosos, que arrancaram risadas em momentos tristonhos e que divagaram sobre teorias e soluções à problemas insolúveis por mera curiosidade à ciência.

Agradeço a todos os professores que tive a oportunidade de ser lecionado por desde minha infância, por performarem a nobre arte de transferência de conhecimento sem olhar a quem, deixando sua marca em todos os agentes de nossa sociedade. Aos meus 6 anos de idade, minha professora narrou que eu seria engenheiro de formação. Apesar de poucas lembranças da época, inclusive seu nome, suas palavras ficaram nem minha mente desde lá, e de certa forma me guiaram à hoje. Minha admiração eterna a vocês professores.

Gostaria de agradecer em especial ao meu professor orientador Eng. Dr. Maurício Andrades Paixão, por me orientar em questões técnicas durante a graduação, mas também me apresentar conhecimentos e posicionamentos socioculturais de grande valia para minha formação pessoal. Agradeço ao destino por ter nos colocado em contato ainda em minha experiência profissional, possibilitando a formação de uma relação de amizade que levarei para a vida.

Agradeço, também, a todos que lutaram e lutam pela manutenção de uma universidade pública com um ensino de qualidade e espero retribuir à sociedade em mesmo nível.

Por fim, mas não menos importante, agradeço à Deus, seja ele qual for, por nos proporcionar a experiência consciente que é viver a vida e completar etapas como essa.

“Sem a música, a vida seria um erro.”

Nietzsche, Friedrich

Apresento esse trabalho como uma nota.

RESUMO

LEHN, G. 2023. Análise de Viabilidade Técnica e Econômica de Implantação de Usina Fotovoltaica como Uso Futuro para Recuperação de Área Degradada por Pedreira. 93 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2023.

Este estudo propõe analisar de forma integrada a recuperação de áreas degradadas por mineração, retornos econômicos e impactos socioambientais de implantação de usinas fotovoltaicas como uso pós atividades de extração, tendo como objetivo analisar a viabilidade técnica e financeira da abordagem. A suposição subjacente é que uma abordagem que englobe critérios financeiros robustos, considerações ambientais conscientes e ações de restauração pode resultar em projetos economicamente viável, como uma alternativa para usos futuros de áreas degradadas ou em processo de degradação. Para obtenção dos resultados foram aplicadas metodologias para escolha da área, levando em consideração características físicas do local de implementação; estimativa de geração de energia, a partir do dimensionamento do sistema de geração; análise econômica do empreendimento, levando em consideração indicadores financeiros; e avaliação de impactos ambientais, utilizando-se do método das matrizes. Os resultados financeiros destacam a viabilidade econômica da usina fotovoltaica, com indicadores positivos como VPL de R\$ 3.658.467,90, TIR de 16,9%, *Payback* de 6,67 anos e IL de 2,96. A análise de impactos ambientais mostra um equilíbrio entre aspectos positivos e negativos, beneficiando-se da consideração do histórico da área degradada. A implementação da usina fotovoltaica emerge como solução viável para geração de energia limpa em áreas degradadas, apoiada por análise financeira sólida.

Palavras-chave: usina fotovoltaica, recuperação de áreas degradadas, impactos ambientais, geração de energia, viabilidade financeira

ABSTRACT

LEHN, G. Translated title. **2023. Technical and Economic Feasibility Analysis of Implementing a Photovoltaic Plant as a Future Use for Recovery of Area Degraded by a Quarry.** 93 f. Bachelor's thesis (Environmental Engineering) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2023.

This study proposes an integrated analysis of the reclamation of mining-degraded areas, economic returns, and socio-environmental impacts of photovoltaic power plant implementation as a post-extraction land use, aiming to assess the technical and financial viability of this approach. The underlying assumption is that an approach encompassing robust financial criteria, mindful environmental considerations, and restoration efforts can lead to economically viable projects, serving as an alternative for future use of degraded or degrading areas. To obtain the results, methodologies were applied for site selection, considering physical characteristics of the implementation location; energy generation estimation, derived from system sizing; economic analysis of the project, considering financial indicators; and environmental impact assessment, using the matrix method. Financial results emphasize the economic viability of the photovoltaic power plant, with positive indicators such as a NPV of \$3,658,467.90, IRR of 16.9%, Payback period of 6.67 years, and a Profitability Index (PI) of 2.96. The environmental impact analysis reveals a balance between positive and negative aspects, benefiting from the consideration of the degraded area's historical context. The implementation of the photovoltaic power plant emerges as a feasible solution for generating clean energy in degraded areas, supported by a solid financial analysis.

Keywords: photovoltaic power plant, reclamation of degraded areas, environmental impacts, energy generation, financial feasibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução das fontes de energia renováveis e não renováveis no Brasil e mundo.	24
Figura 2: Adições líquidas de capacidade anual de eletricidade (GW) renovável entre 2017 e 2022.	25
Figura 3: Investimento energético global em energia limpa e em combustíveis fósseis entre 2015 e 2023.	26
Figura 4: Usina fotovoltaica São Gonçalo, maior potência nominal do Brasil.....	29
Figura 5: Mapa brasileiro do potencial de geração de energia fotovoltaica.....	30
Figura 6: Ilustração das células de silício policristalino e monocristalino.	31
Figura 7: Participação no mercado mundial de cada tecnologia fotovoltaica.....	32
Figura 8: Foto da área de operação de uma pedreira.....	42
Figura 9: Área de estudo e delimitações internas.....	46
Figura 10: Mapa planialtimétrico da área de estudo.	47
Figura 11: Foto do Latossolo Vermelho Distroférico típico em Santo Ângelo.....	49
Figura 12: Mapa da irradiação normal direta no território brasileiro.....	51
Figura 13: Gráfico da irradiação solar mensal média em Santo Ângelo.....	53
Figura 14: Pátio de armazenamento do empreendimento, com presença dos produtos....	54
Figura 15: Ilustração da configuração final dos taludes.....	73
Figura 16: Configuração final dos taludes a serem recuperados.....	74
Figura 17: Configuração final da área após recuperação.	75
Figura 18: Gráfico da Receita Bruta e Resultado Operacional vs Tempo.	84
Figura 19: Gráfico do Fluxo de Caixa e Payback vs Tempo.....	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: impactos ambientais recorrentes na mineração de pedreiras.....	44
Quadro 2: Irradiação solar mensal média medida em estações em Santo Ângelo.	52
Quadro 3: Irradiação solar mensal média da primeira estação em diferentes ângulos.....	52
Quadro 4: Premissas, dados e fórmulas utilizadas para os cálculos financeiros.....	58
Quadro 5: Especificações técnicas do módulo fotovoltaico CS3W 450MS da Canadian Solar.....	67
Quadro 6: Estimativa de geração de energia elétrica mensal.	68
Quadro 7: Estimativa de geração de energia elétrica anual.....	69
Quadro 8: Cronograma de recuperação da área degradada.	78
Quadro 9: Simulação financeira dos resultados do empreendimento - ano 0 ao 7.....	80
Quadro 10: Simulação financeira dos resultados do empreendimento - ano 8 ao 15.....	81
Quadro 11: Simulação financeira dos resultados do empreendimento - ano 16 ao 20.....	82
Quadro 12: Simulação financeira dos resultados do empreendimento - ano 21 ao 25.....	83
Quadro 13: Resultado dos indicadores financeiros utilizados.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Oferta Interna de Energia (OIE) dos anos de 2021 e 2022.....	23
Tabela 2: Ações de determinada fase do empreendimento e seus impactos ambientais...	87
Tabela 3: Matriz de Leopold para implementação da UFV.	89

LISTA DE SIGLAS

ACL: Ambiente de Contratação Livre

ACR: Ambiente de Contratação Regulada

AIE: Agência Internacional de Energia

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

ANM: Agência Nacional de Mineração

APP: Área de Preservação Permanente

BIPV: Building Integrated PhotoVoltaics (Painéis Solares Integrados à Construção)

CA: Corrente Alternada

CBD: Deposição por Banho Químico

CC: Corrente Contínua

CEMIG: Companhia Energética de Minas Gerais S.A

CEPEL: Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

COFINS: Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

CAPEX: Capital Expenditure (Despesas de Capitais)

COMGRAD-AMB: Comissão de Graduação da Engenharia Ambiental

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

CRESESB: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica

CSSL: Contribuição Social sobre o Lucro Líquido

CSS: Sublimação em Espaço Reduzido

DSC: Células Solares Sensibilizadas por Corante

EIA: Estudo de Impacto Ambiental

EPE: Empresa de Pesquisa Energética

FV: Fotovoltaico(a)

GC: Geração Centralizada

GD: Geração Distribuída

HSP: Horas de Sol Pleno

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS: Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IL: Índice de Lucratividade

IPH: Instituto de Pesquisas Hidráulicas

IR: Imposto de Renda

ISS: Imposto Sobre Serviços

LPCVD: Deposição Química a Vapor em Baixas Pressões

MME: Ministério de Minas e Energia

MPPT: Rastreamento do Ponto de Máxima Potência

ODS: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OIE: Oferta Interna de Energia

ONU: Organização das Nações Unidas

OPEX: Operational Expenditure (Despesas Operacionais)

OSC: Organic Solar Cells (Células Solares Orgânicas)

PAC: Programa de Aceleração de Crescimento

PCA: Plano de Controle Ambiental

PDE: Plano

PDE: Plano Decenal de Energia

PIS: Programa de Integração Social

PPA: Power Purchase Agreements (Contratos de Compra de Energia)

PRAD: Plano de Recuperação de Áreas Degradadas

PV: Photovoltaic (Fotovoltaica)

PWM: Modulação por Largura de Pulso

RGE: Rio Grande Energia

RIMA: Relatório de Impacto Ambiental
SFV: Sistema Fotovoltaico
SOL: Sistema Online de Licenciamento
TIR: Taxa Interna de Retorno
TMA: Taxa Mínima Atraente
TUSD: Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSM: Universidade Federal de Santa Maria
UFV: Usina Fotovoltaica
VPL: Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

A = área [m^2]
a-Si = silício amorfo
CdTe = telureto de cádmio
c-Si = silício cristalino
 D_c = desconto consumidor final [%]
 D_{imp} = perda pelos impostos: ICMS+PIS/COFINS [R\$/kWh]
 $D_{mês}$ = quantidade de dias no mês
 FC_t = fluxo de caixa no período t
 F_p = Fator Preço [R\$/Wp]
kW = kilowatts
kWh = kilowatt hora
m-Si = silício monocristalino
MWh = megawatt hora

MWp = megawatt de potência

N = nitrogênio

$N^{\circ}_{mód}$ = número de módulos fotovoltaicos;

P = fósforo

P_{fv} = potência do sistema fotovoltaico [W];

P_i = potência instalada [kWh]

$P_{mód}$ = potência nominal máxima do módulo [W]

$P_{mód}$ = potência nominal máxima do módulo [W].

P_{total} = potência nominal total [kW]

p-Si = silício policristalino

Si = silício

T_c = tarifa concessionária [R\$/kWh]

T_{com} = tarifa comercializadora [R\$/kWh]

T_i = tarifa injeção [R\$/kW]

W = watts

μm = micrograma

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	18
2.	OBJETIVOS.....	19
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	19
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3.	PANORAMA ENERGÉTICO BRASILEIRO	21
3.1.	MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA	22
3.1.1.	Fontes renováveis	24
4.	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	27
4.1.	TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS	30
4.1.1.	Silício monocristalino (m-Si).....	32
4.1.2.	Silício policristalino (p-Si).....	33
4.1.3.	Filmes finos.....	34
4.1.4.	Células orgânicas	34
4.2.	SISTEMA FOTOVOLTAICO	35
4.2.1.	Sistemas autônomos ou isolado (<i>off grid</i>).....	35
4.2.2.	Sistemas ligados à rede (<i>on grid</i>).....	36
4.2.3.	Sistemas híbridos	36
4.3.	EQUIPAMENTOS AUXILIARES	37
4.3.1.	Controladores de carga	37
4.3.2.	Baterias	37
4.3.3.	Inversores.....	38
4.4.	MODELOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA	39
4.4.1.	Geração Centralizada (GC).....	39

4.4.2.	Geração Distribuída (GD).....	40
5.	RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR PEDREIRAS	41
5.1.	IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS	42
5.2.	PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO.....	44
6.	METODOLOGIA	45
6.1.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	46
6.1.1.	Escolha da área	48
6.1.2.	Geologia.....	49
6.1.3.	Pluviosidade.....	49
6.1.4.	Incidência solar	50
6.1.5.	Atividade econômica	53
6.2.	DIMENSIONAMENTO DA UFV	54
6.2.1.	Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos	54
6.2.2.	Dimensionamento do inversor	55
6.2.3.	Estimativa de geração	55
6.3.	PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA.....	57
6.4.	ANÁLISE FINANCEIRA DA UFV	57
6.4.1.	Premissas adotadas	58
6.4.2.	Fluxo de Caixa	59
6.4.3.	Valor Presente Líquido (VPL).....	61
6.4.4.	Taxa Interna de Retorno (TIR)	61
6.4.5.	Payback Period	62
6.4.6.	Índice de Lucratividade (IL).....	63
6.5.	AVALIAÇÃO DE IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS	64
6.5.1.	Matriz de Leopold.....	65
7.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66

7.1. POTENCIAL GERADOR.....	66
7.2. PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA (PRAD)	69
7.2.1. Diagnóstico Ambiental	69
7.2.2. Configuração final da Remediação da Área	73
7.2.3. Cronograma	77
7.3. RESULTADOS FINANCEIROS.....	78
7.4. IMPACTOS AMBIENTAIS	86
8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	90
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92

1. INTRODUÇÃO

A implementação de usinas fotovoltaicas tem ganhado crescente destaque como uma alternativa sustentável para a geração de energia elétrica, aproveitando os recursos solares e minimizando impactos ambientais através de uma geração limpa (Almeida et al. 2015). Além disso, muitas áreas degradadas por atividades antrópicas carecem de um uso final por conta das alterações sofridas durante execução dessas atividades. No entanto, é crucial considerar a viabilidade econômica, os aspectos ambientais e sociais envolvidos. Este estudo visa abordar os tópicos supracitados, fornecendo um panorama abrangente das questões apresentadas.

Dentro das políticas do Brasil, é prevista a restauração e regeneração natural de 12 milhões de hectares até 2030 para múltiplos usos (MMA, 2017). Muitas dessas áreas sem projeções economicamente viáveis para usos futuros, configurando um enorme passivo, além de ambiental, econômico, acarretando, muitas vezes, no abandono por seus proprietários e restando à união recuperá-las. No contexto brasileiro, é amplamente compreendido que a recuperação de uma área envolve identificar uma nova aplicação produtiva para a mesma, que pode ser similar ou divergente em relação à sua utilização prévia (Davin 2019). Por outro lado, a transição para fontes de energia limpa e renovável tornou-se uma prioridade global devido às preocupações com as mudanças climáticas e a crescente demanda por energia. As usinas fotovoltaicas surgem como uma solução promissora em um país com grande irradiação solar, exigindo pouco das áreas de implementação e capazes de contribuir para a sustentabilidade energética.

Atualmente, a recuperação de áreas degradadas é uma preocupação global, e no Brasil, essa prática é regulamentada por leis ambientais que visam minimizar os impactos negativos causados por atividades humanas, como mineração e construção. Paralelamente, o cenário energético brasileiro passa por transformações significativas, com a crescente importância das fontes de energia renovável. A matriz energética do país vem diversificando-se, e a energia solar tem se destacado, apresentando um crescimento notável nos últimos anos (Bühler et al. 2019). A convergência entre a recuperação de áreas degradadas e a expansão da geração solar é uma oportunidade para alinhar objetivos ambientais, energéticos e financeiros, onde a implementação de usinas fotovoltaicas pode

não apenas contribuir para a matriz energética, mas também servir como uso futuro na revitalização de territórios degradados.

A área em foco apresenta características interessantes para aplicação da metodologia do estudo. Sua localização no estado do Rio Grande do Sul, histórico de degradação e potencial para a instalação de uma usina fotovoltaica conferem-lhe relevância significativa. A análise desses aspectos permitirá compreender a interseção entre a recuperação ambiental, a implementação da usina fotovoltaica e os impactos financeiros e ambientais envolvidos.

Este trabalho visa preencher uma lacuna de conhecimento ao explorar de maneira integrada a recuperação de áreas degradadas, a viabilidade econômica e socioambiental em relação à implementação de usinas fotovoltaicas em áreas degradadas. A hipótese subjacente é que a combinação de uma abordagem financeira sólida, considerações ambientais conscientes e esforços de revitalização podem resultar em projetos viáveis economicamente e ambientalmente, que contribuam para um futuro mais equilibrado e limpo.

2. OBJETIVOS

2.1.OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade econômica da implantação de uma usina fotovoltaica como uma solução economicamente viável e sustentável de uso final de uma área degradada por atividades mineradoras.

2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos do presente trabalho podem ser listados:

- Avaliar se a área de estudo apresenta potencial para geração de energia solar;
- Elaborar um plano de remediação que seja eficiente e que minimize os impactos ambientais durante o processo;

- Realizar avaliação de mercado e análise de viabilidade econômica da implantação de uma usina fotovoltaica na área remediada, considerando os custos de instalação, manutenção e operação, bem como os possíveis benefícios financeiros, como a venda de energia elétrica gerada;
- Elencar e analisar os impactos ambientais e sociais da implantação da usina fotovoltaica no contexto da recuperação de áreas degradadas por mineração.
- Propor recomendações e diretrizes para a implementação de projetos semelhantes, levando em consideração os aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais, a fim de garantir o sucesso de remediações de áreas degradadas com a implantação de usinas solares como atividade posterior.

3. PANORAMA ENERGÉTICO BRASILEIRO

Um estudo publicado por Neto et al. 2016 demonstra uma relação causal entre a demanda energética e o Produto Interno Bruto (PIB) de um país, em que se inferiu que o aumento da demanda por energia implica em um maior crescimento econômico para determinado período. Sendo assim, emergem discussões sobre a importância do papel dos recursos energéticos.

A demanda pela energia primária dobrou no Brasil desde 1990, impulsionado por um forte crescimento no consumo de eletricidade e na demanda por combustíveis de transporte em decorrência de um crescimento econômico robusto e uma classe média em expansão. Essa necessidade de ampliação da matriz energética do país trouxe grandes desafios para o setor. Devido às condições geográficas, a presença de hidroelétricas sempre foi intensa na matriz energética brasileira, correspondendo por cerca de 58% da capacidade instalada de geração elétrica dentro do país e tornando-a uma das mais limpas do mundo (MME 2022).

Entretanto, uma vez que a geração hidráulica vem enfrentando fortes e constantes crises por conta da crise hídrica enfrentada no país nos últimos anos, outras fontes renováveis, como eólica e solar, vem ganhando notoriedade no setor. Estima-se que 70% de todas as adições na geração de energia serão por meio de projetos fotovoltaicos (IEA 2023). A dependência de outras fontes de geração de energia também está crescendo, principalmente gás natural, vento (*onshore* e *offshore*) e bioenergia.

Dentro do planejamento do país há uma vertente que busca diminuir a exposição do país às questões hídricas, fomentando o desenvolvimento da diversificação da matriz energética brasileira. Assim, no período 2005/2030, segundo o Plano Nacional de Energia 2030 (MME, 2007), haveria uma redução significativa da utilização de lenha e carvão vegetal, de 13% para 5,5%; um aumento da participação do gás natural, de 9,4% para 15,5%; uma redução da participação do petróleo e derivados de 38,7% para 28%; uma elevação na participação das fontes energéticas oriundas de produtos da cana-de-açúcar e outras renováveis, (etanol, H-Bio, Biodiesel e outras), de 16,7% para 27,6%; e a manutenção da participação das fontes renováveis, atualmente em torno de 45%, diante do valor de 14% no mundo.

3.1. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

A matriz energética brasileira é um reflexo da rica diversidade de recursos naturais disponíveis no país. Ao longo dos últimos 23 anos, o Brasil tem buscado uma trajetória de transição energética, com o objetivo de promover uma matriz mais sustentável e menos dependente de fontes não renováveis. Historicamente, o Brasil sempre se destacou pelo uso da energia hidrelétrica, aproveitando seus extensos rios para a geração de eletricidade. Esse recurso natural abundante possibilitou ao país construir grandes usinas hidrelétricas que, por décadas, foram a principal fonte de energia elétrica no país.

No entanto, esse enfoque na energia hidrelétrica também trouxe desafios ao longo do tempo. A dependência de fontes hídricas tornou o sistema vulnerável a variações climáticas, como secas prolongadas, que podem afetar a disponibilidade de água para a geração de energia elétrica. Essa vulnerabilidade ficou evidente em períodos de escassez hídrica, como ocorrido nos anos 2000 e 2014-2015, quando o Brasil enfrentou desafios para atender plenamente à demanda energética.

Essa experiência levou o Brasil a repensar sua matriz energética e a buscar uma diversificação das fontes de energia. Nos últimos 20 anos, houve um esforço significativo para expandir a capacidade de geração de energia a partir de fontes renováveis e limpas. A energia eólica ganhou destaque no Nordeste brasileiro, uma região com ventos constantes e favoráveis para a produção de eletricidade. A energia solar também passou por uma expansão notável em todo o país, aproveitando o grande potencial solar do Brasil para produzir energia de forma sustentável.

Outra importante evolução na matriz energética brasileira ao longo dos últimos anos foi o significativo crescimento da produção de biocombustíveis, em especial o etanol derivado da cana-de-açúcar. O Brasil tem se destacado como líder mundial na produção e consumo de etanol como combustível veicular, representando um avanço expressivo em sua busca por fontes de energia mais limpas e sustentáveis. O etanol produzido a partir da cana-de-açúcar é considerado uma alternativa promissora aos combustíveis fósseis, pois é obtido a partir de uma fonte renovável e apresenta menores emissões de gases de efeito estufa quando comparado aos combustíveis derivados de petróleo. Além disso, o processo de produção de etanol da cana-de-açúcar é mais eficiente em termos energéticos, ou seja, a quantidade de energia necessária para produzi-lo é menor do que a energia

obtida com sua queima, contribuindo para uma maior eficiência na matriz energética do país. Contudo, apesar dos avanços e benefícios, a expansão da produção de biocombustíveis também enfrenta desafios, como a necessidade de assegurar o uso sustentável da terra e a não competição com a produção de alimentos. É essencial estabelecer políticas e regulamentações adequadas para garantir que a produção de biocombustíveis seja realizada de forma responsável, levando em consideração os aspectos ambientais, sociais e econômicos.

Essa diversificação da matriz energética é essencial para garantir a segurança energética do país e reduzir sua dependência de fontes fósseis, que ainda desempenham um papel significativo na oferta de energia. A busca por alternativas mais limpas e renováveis não apenas contribui para mitigar os impactos ambientais, mas também fortalece a resiliência do sistema energético brasileiro frente a desafios futuros, como as mudanças climáticas.

Apesar da grande capacidade instalada na fonte hidráulica, a Oferta Interna de Energia (OIE), a qual representa a energia gerada no país, foi predominantemente da fonte Petróleo e Derivados nos últimos anos, como apresentado na Tabela 1 que compara os valores de OIE dos anos de 2021 e 2022.

Tabela 1: Oferta Interna de Energia (OIE) dos anos de 2021 e 2022.

ESPECIFICAÇÃO	mil tep		21/20 %	Estrutura %	
	2020	2021		2020	2021
NÃO-RENOVÁVEL	148.518	166.597	12,2	51,5	55,3
PETRÓLEO E DERIVADOS	95.247	103.625	8,8	33,0	34,4
GÁS NATURAL	33.824	40.225	18,9	11,7	13,3
CARVÃO MINERAL E DERIVADOS	14.027	17.017	21,3	4,9	5,6
URÂNIO (U308) E DERIVADOS	3.727	3.900	4,7	1,3	1,3
OUTRAS NÃO-RENOVÁVEIS (a)	1.693	1.829	8,0	0,6	0,6
RENOVÁVEL	139.966	134.881	-3,6	48,5	44,7
HIDRÁULICA E ELETRICIDADE	36.215	33.189	-8,4	12,6	11,0
LENHA E CARVÃO VEGETAL	25.710	26.083	1,4	8,9	8,7
DERIVADOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	54.933	49.442	-10,0	19,0	16,4
OUTRAS RENOVÁVEIS (b)	23.108	26.168	13,2	8,0	8,7
TOTAL	288.483	301.478	4,5	100,0	100,0
dos quais fósseis	144.791	162.696	12,4	50,2	54,0

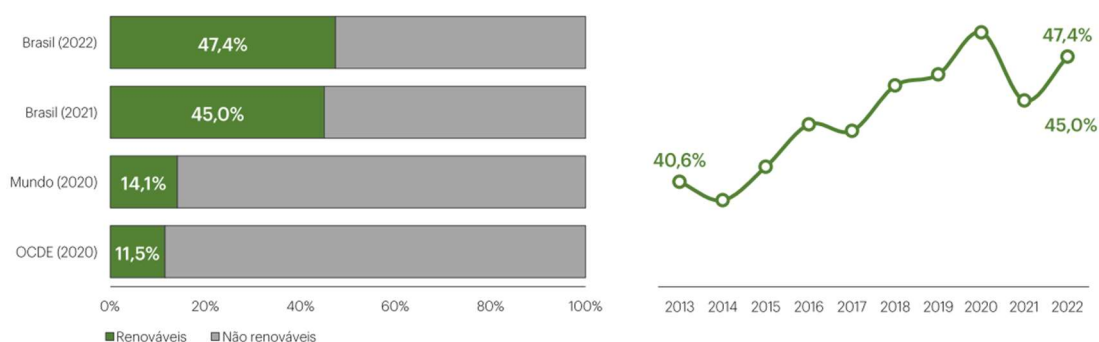
Fonte: Adaptado do Balanço Energético Nacional, 2022.

O Balanço Energético Nacional de 2022, publicado anualmente pela EPE, mostrou que o país já vem sofrendo consequências das estratégias utilizadas nos últimos 20 anos, como pode-se observar na redução do OIE das fontes Hidráulica e Eletricidade e

Derivados da Cana-de-açúcar. É importante salientar que, apesar do plano de manter ou aumentar a participação das fontes renováveis, o retrocesso nos números do ano de 2021 é um ponto fora da curva de tendência dos últimos anos, como apresentado na Figura 1.

Já no ano de 2023 foi possível observar um aumento na participação das renováveis na OIE, principalmente pelo regime hídrico favorável enfrentado no ano e crescimento notório da geração pelas fontes eólicas e solares. A Figura 1 apresenta a evolução das fontes renováveis.

Figura 1: Evolução das fontes de energia renováveis e não renováveis no Brasil e mundo.



Fonte: Boletim Energético Nacional 2023, EPE.

Importante destacar a supremacia mundial do país na geração de energia elétrica por fontes renováveis, apresentando cerca de 30 pontos percentuais acima da média mundial. Esse número se dá principalmente por conta das características geográficas do país que propiciam um ótimo ambiente para geração pelas fontes hidráulicas, solares, eólicas e um ótimo solo para produção de biocombustíveis.

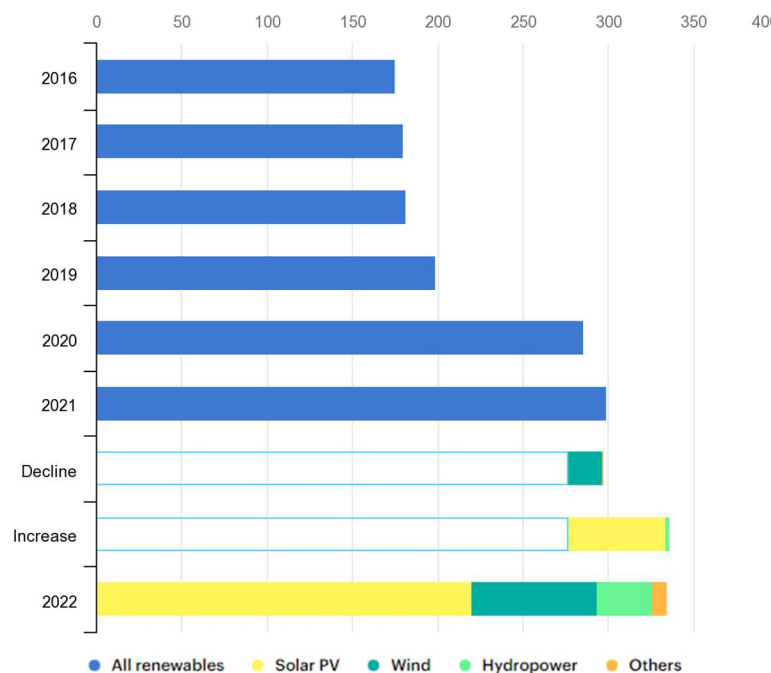
3.1.1. Fontes renováveis

A dependência energética do homem e a crescente degradação ambiental que potencializa a escassez de recursos leva a discussão os temas relacionados a sustentabilidade energética. De acordo com (Bursztyn 2020) “a sustentabilidade é comumente definida de modo amplo, de forma a abranger crescimento e desenvolvimento econômicos com a conservação ambiental”. Desta forma, o desenvolvimento sustentável precisa ser visto como uma alternativa de longo prazo, em que a utilização de ecossistemas e recursos naturais devem satisfazer as necessidades atuais, sem comprometer as necessidades ou opções de gerações futuras. Frente a essas definições, a renovabilidade de fontes energéticas torna-se necessária para que ocorra o

desenvolvimento sustentável e perpetuação de sistemas econômicos. De acordo com Freire 2014 e Mantovani et al. 2017 as fontes energéticas podem ser classificadas da seguinte forma:

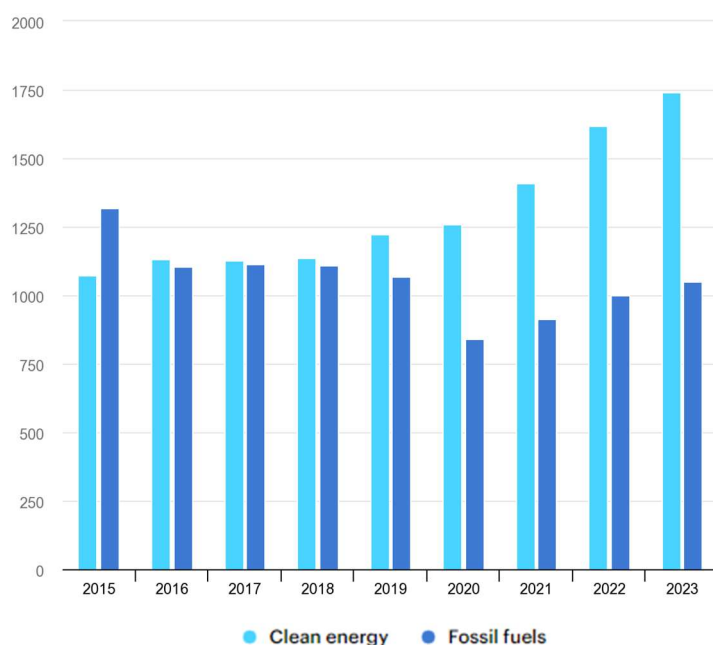
- **Não renováveis:** são aquelas encontradas na natureza em quantidades limitadas, cujo ciclo de formação é de milhões de anos, em que uma vez esgotadas, suas reservas não podem ser regeneradas. São consideradas fontes de energias não renováveis os combustíveis fósseis como o petróleo, gás natural, carvão e o urânio como fonte de energia nuclear.
- **Renováveis:** são aquelas em que a renovabilidade de suas fontes se dá em ciclos contínuos, que se repetem em espaço de tempo relativamente curtos, ou seja, suas fontes têm capacidade de manter-se disponíveis durante um longo prazo. Sendo consideradas fontes renováveis a energia solar, eólica, hidráulica, oceânica, fotovoltaica, biocombustíveis.

Figura 2: Adições líquidas de capacidade anual de eletricidade (GW) renovável entre 2017 e 2022 a nível global.



Fonte: IEA, 2023.

Figura 3: Investimento energético global em energia limpa e em combustíveis fósseis entre 2015 e 2023 a nível global.



Fonte: IEA, 2023

Nos últimos vinte anos, o Estado brasileiro tem buscado impulsionar a adoção de fontes renováveis de energia como parte de sua estratégia para garantir o acesso universal à energia para todos os cidadãos do país. Um marco importante nessa trajetória foi o lançamento do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) em 2007, que teve como objetivo retomar grandes projetos de infraestrutura em diversas áreas, incluindo a energia. Esse comprometimento com o desenvolvimento sustentável foi reforçado pelo alinhamento do Brasil com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU em 2015, em que o ODS 7 se destaca como aquele que trata especificamente do setor energético.

O ODS 7, intitulado "Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos", tem sido o norteador das ações do governo brasileiro para alcançar um sistema energético mais sustentável e inclusivo. A Agenda 2030 estabeleceu cinco metas para o desenvolvimento e maior acessibilidade a energias limpas em todo o mundo, sendo três delas adaptadas à realidade nacional. O governo federal respondeu a esse desafio realizando um diagnóstico setorial da eficiência energética no país através do Plano Decenal de Expansão de Energia 2027 (PDE 2027). O PDE 2027 tem como objetivo aprimorar a eficiência energética total do Brasil, buscando economizar uma quantidade significativa de energia elétrica e combustíveis até o horizonte estipulado,

reduzindo assim a dependência de recursos não renováveis e promovendo a transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável.

A busca do Estado brasileiro pela promoção de fontes renováveis de energia, conforme evidenciado nas ações do PAC e na adesão aos ODS da ONU, representa um compromisso claro com o desenvolvimento sustentável e a construção de um futuro energético mais acessível e eficiente. Ao enfrentar os desafios do ODS 7, o Brasil se coloca como um importante ator na transição global para uma economia de baixo carbono. O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2027) desempenha um papel estratégico nesse caminho, estabelecendo metas claras para o uso mais eficiente da energia e a promoção das energias limpas no país. Assim, a contribuição do Estado brasileiro nessa jornada é fundamental para impulsionar uma mudança positiva no sistema energético nacional e reforçar o país como um líder mundial no uso responsável e sustentável de recursos energéticos.

A energia solar surge como um elemento-chave e estratégico no contexto das fontes renováveis no Brasil. Com um dos maiores índices de radiação solar do mundo, o país possui um potencial significativo e inexplorado para o desenvolvimento dessa fonte energética limpa e sustentável. A expansão da energia solar fotovoltaica tem um papel crucial na diversificação da matriz energética brasileira e na busca pela segurança energética, além de contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa.

4. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é definida como a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Isto se dá, por meio de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica que atua utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico (Imhoff 2007).

Inicialmente o desenvolvimento da tecnologia apoiou-se na busca, por empresas do setor de telecomunicações, de fontes de energia para sistemas instalados em localidades remotas. O segundo agente impulsionador foi a “corrida espacial”. A célula solar era, e continua sendo, o meio mais adequado (menor custo e peso) para fornecer a quantidade de energia necessária para longos períodos de permanência no espaço. Outro

uso espacial que impulsionou o desenvolvimento das células solares foi a necessidade de energia para satélites.

Em 1993 a produção de células fotovoltaicas atingiu a marca de 60 MWp, sendo o Silício quase absoluto no “ranking” dos materiais utilizados. O silício, segundo elemento mais abundante no globo terrestre, tem sido explorado sob diversas formas: monocristalino, policristalino e amorfo. No entanto, a busca de materiais alternativos é intensa e concentra-se na área de filmes finos, onde o silício amorfo se enquadra. Células de filmes finos, além de utilizarem menor quantidade de material do que as que apresentam estruturas cristalinas, requerem uma menor quantidade de energia no seu processo de fabricação. Ou seja, possuem uma maior eficiência energética.

Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), a capacidade solar fotovoltaica, incluindo sistemas distribuídos de grande e pequena escala, é responsável por dois terços do aumento projetado para este ano na capacidade renovável global. Em resposta ao aumento dos preços da eletricidade causado pela crise energética global, os decisores políticos em muitos países, particularmente na Europa, têm procurado ativamente alternativas aos combustíveis fósseis importados que possam melhorar a segurança energética. Essa mudança de foco criou um ambiente favorável para a energia solar fotovoltaica, especialmente para sistemas residenciais e comerciais que podem ser rapidamente instalados para atender à crescente demanda por energia renovável. Essas aplicações fotovoltaicas distribuídas menores estão a caminho de responder por metade da implantação geral de energia solar fotovoltaica deste ano – maior do que a implantação total de energia eólica *onshore* no mesmo período (AIE, 2023). As adições de energia solar fotovoltaica continuarão a aumentar em 2024, enquanto os desafios permanecem para a expansão eólica. O declínio dos preços dos módulos, a maior adoção de sistemas solares fotovoltaicos distribuídos e um impulso político para a implantação em larga escala estão impulsionando adições solares anuais mais altas em todos os principais mercados – incluindo China, União Europeia, Estados Unidos e Índia.

Figura 4: Usina fotovoltaica São Gonçalo, no Piauí, maior potência nominal do Brasil.



Fonte: CanalSolar, 2021.

No Brasil, o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica pode contribuir de maneira significativa na diversificação da matriz podendo ser utilizada para preservar as fontes tradicionais de energia, seja pela economia de combustíveis fósseis ou pela preservação do nível dos reservatórios das usinas hidrelétricas. O país possui um grande potencial de energia solar, um dos maiores do mundo, como apresentado na Figura 4. Entretanto, o potencial ainda é pouco explorado quando comparado com países europeus, que possuem mais capacidade instalada e uma significativa menor radiação solar.

Figura 5: Mapa brasileiro do potencial de geração de energia fotovoltaica.



Fonte: Global Solar Atlas, Banco Mundial, 2023.

4.1. TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS

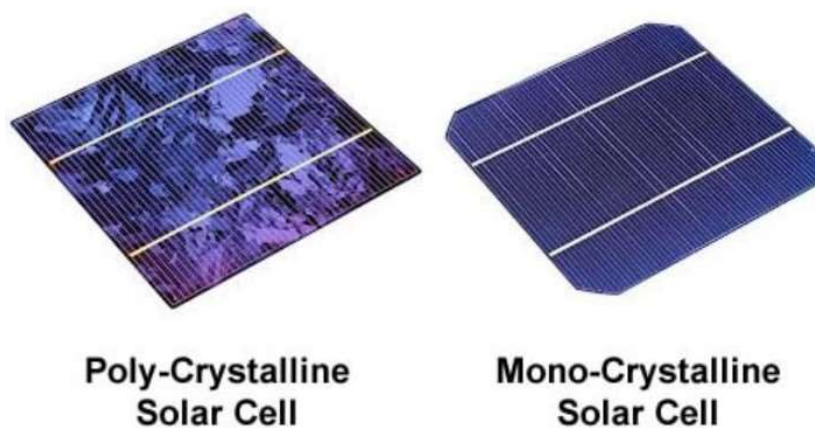
O fenômeno do efeito fotovoltaico ocorre em materiais naturais chamados semicondutores, que se caracterizam por terem faixas de energia onde elétrons podem estar presentes (faixa de valência) e outras faixas vazias (faixa de condução). Quando uma junção P-N é exposta a um fóton com energia suficiente, pares de elétrons e lacunas são gerados. Se essa geração ocorrer em uma região onde existe um campo elétrico, isso

resulta na geração de uma corrente através da junção, levando a uma diferença de potencial que é conhecida como o Efeito Fotovoltaico. A base de funcionamento das células solares envolve conectar as extremidades das camadas semicondutoras a um voltímetro, que indicará uma medição no visor.

Em busca de novas tecnologias para o uso de energias renováveis, os sistemas fotovoltaicos encontram-se em crescente utilização. Com isso, tem-se explorado novos materiais e realizado pesquisas para o avanço da tecnologia fotovoltaica (CEMIG, 2012). O silício (Si) é o principal material na fabricação das células fotovoltaicas (FV), e se constitui como o segundo elemento químico mais abundante na terra. De forma geral pode-se dividir as tecnologias que existem atualmente em três categorias, denominadas gerações, classificadas de acordo com seu material e suas características.

A primeira geração é composta por silício cristalino (c-Si), que se subdivide em silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), representando 85% do mercado, por ser uma tecnologia de melhor eficiência, consolidação e confiança (CEPEL et al. 2014).

Figura 6: Ilustração das células de silício policristalino e monocristalino.



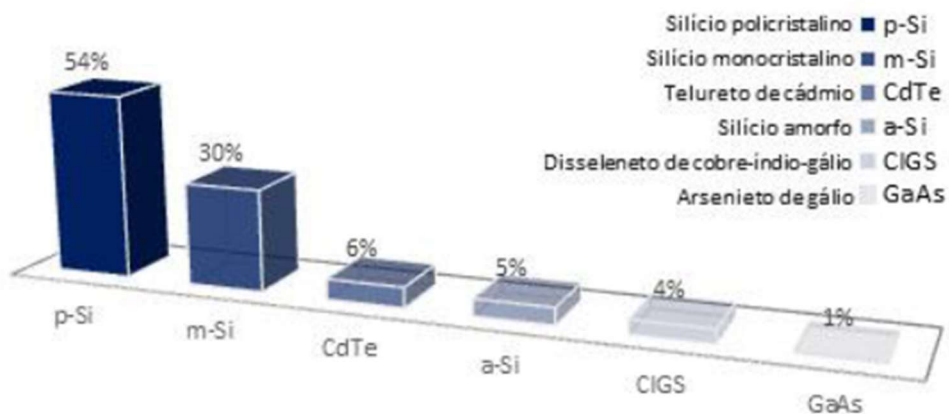
Fonte: <https://canalsolar.com.br/silicio-mono-ou-policristalino-quem-vence-o-duelo/>, 2019.

A segunda geração, também chamada de filmes finos, é dividida em três cadeias: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). Uma vez que módulos de filmes finos empregam muito menos material na sua fabricação, essa tecnologia apresenta um alto potencial de redução de custos. Entretanto, até o presente momento, apesar dos custos terem baixado muito nos últimos anos, não se observou um crescimento percentual significativo dos filmes finos no mercado. Isso

ocorre, principalmente, pela significativa redução de preço de módulos de primeira geração, aliados a sua maturidade no mercado e razoável eficiência de conversão.

As células solares de terceira geração utilizam materiais orgânicos, como pequenas moléculas ou polímeros, para atingir avanços significativos na eficiência de conversão da energia solar em eletricidade. Nesse contexto, surgem as células solares orgânicas (OSC) e as células solares sensibilizadas por corante (DSC), também conhecidas como células de Grätzel. Além disso, a terceira geração abarca as células solares de múltiplas junções, que se destacam pela capacidade de absorver uma ampla faixa do espectro solar, o que resulta nas maiores eficiências dentre todos os dispositivos fotovoltaicos existentes. Os avanços almejados por essa terceira geração visam principalmente elevar a eficiência da conversão de energia, diminuir os custos de fabricação e incorporar particularidades distintas nas células e módulos fotovoltaicos, direcionando-os para usos específicos, como a integração em edifícios (BIPV). É importante observar que as células solares de terceira geração ainda se encontram nos estágios preliminares de desenvolvimento, continuando a ser objeto de pesquisas e inovações em curso.

Figura 7: Participação no mercado mundial de cada tecnologia fotovoltaica.



Fonte: Adaptado de Osarumen, O. et al, 2016.

4.1.1. Silício monocristalino (m-Si)

Fundamentalmente, a obtenção do silício para aplicação fotovoltaica é realizada através do crescimento de um único cristal, com um elevado grau de pureza, caracterizado por uma quase ausência de impurezas, representando apenas uma parcela muito pequena

em partes por milhão. Esse processo é conhecido como método Czochralski, resultando na formação de um cristal com formato cilíndrico. Para otimizar a eficiência de conversão dos dispositivos fotovoltaicos, torna-se crucial maximizar a área preenchida com material fotovoltaico. Para atingir esse objetivo, os discos obtidos ao laminar o cilindro de silício monocristalino (m-Si) são cortados em seus quatro lados, criando uma configuração quadrada. Essa abordagem visa minimizar a área do módulo que não está ocupada com material fotovoltaico.

O custo de produção de um módulo de silício monocristalino (m-Si) é notavelmente superior em comparação com muitas outras tecnologias fotovoltaicas atualmente existentes. Esse cenário é atribuído à natureza complexa, sofisticada e dispendiosa do processo de fabricação das células de silício monocristalino. À exceção das células compostas por múltiplas camadas, que têm a capacidade de aproveitar uma vasta gama do espectro solar, o silício monocristalino ostenta a maior eficiência de conversão para módulos de uso comercial.

Quando também são considerados módulos destinados a aplicações especiais, como o arsenieto de gálio, é observada uma eficiência ainda maior. No geral, os módulos de silício monocristalino tendem a exibir eficiências variando entre 16% e 18%.

4.1.2. Silício policristalino (p-Si)

Devido ao processo de produção, os custos associados ao silício policristalino (p-Si) são notavelmente inferiores aos do silício monocristalino (m-Si). As células fotovoltaicas policristalinas são obtidas por meio do processo de solidificação do silício, que resulta na formação de um cubo, posteriormente passível de ser cortado em células quadradas. Esse método conduz à formação de vários cristais. É importante notar que a eficiência de uma célula de p-Si é menor em comparação com as células de m-Si. A eficácia decresce conforme o tamanho dos cristais diminui, o que explica as maiores eficiências observadas nos módulos mais recentes que apresentam cristais de dimensões da ordem de centímetros. A vantagem das células de p-Si é a sua capacidade de serem cortadas em formas quadradas, maximizando assim a área do módulo preenchida com material fotovoltaico, em comparação ao módulo de m-Si. Geralmente, a eficiência dos módulos de silício policristalino se aproxima daquela dos módulos de silício monocristalino. Atualmente, os módulos de p-Si possuem eficiência entre 14% e 16%,

embora já seja possível encontrar módulos com eficiências superiores a 17%. Essa tecnologia representa uma parcela significativa do mercado global, notadamente devido ao seu baixo custo de produção e eficiência comparável ao silício monocristalino.

4.1.3. Filmes finos

Filme fino é uma denominação dada a tecnologias fotovoltaicas que empregam materiais com espessuras da ordem de apenas 1µm (aproximadamente 100 vezes menos espessado que lâminas de silício cristalino). O processo de fabricação é muito diferente do silício cristalino, consistindo basicamente na deposição de uma ou mais camadas de filme fotossensível em um substrato, como o vidro, plástico, cerâmico ou metal. Esta deposição pode se dar por meio de diversos processos, tais como pulverização catódica, eletrodeposição, CBD (deposição por banho químico), CSS (sublimação em espaço reduzido) e LPCVD (deposição química a vapor em baixas pressões). Uma vez que módulos de filmes finos empregam muito menos material na sua fabricação, essa tecnologia apresenta um alto potencial de redução de custos. Entretanto, até o presente momento, apesar dos custos terem baixado muito nos últimos anos, não se observou um crescimento percentual significativo dos filmes finos no mercado. Isso ocorre, principalmente, por significativa redução de preço de módulos de primeira geração, aliados à sua maturidade no mercado e razoável eficiência de conversão.

4.1.4. Células orgânicas

As células solares de terceira geração utilizam materiais orgânicos, como pequenas moléculas ou polímeros, para representar uma nova etapa no avanço das tecnologias fotovoltaicas. Essa categoria inclui as chamadas células solares orgânicas (OSC) e as células solares sensibilizadas por corante, também conhecidas como células de Grätzel. Adicionalmente, a terceira geração engloba as células solares de múltiplas junções, que se destacam por sua capacidade de absorver uma ampla faixa do espectro solar, resultando em uma eficiência superior entre todos os tipos de dispositivos fotovoltaicos. O foco central das tecnologias inseridas nessa terceira geração reside na melhoria da eficiência de conversão de energia, na redução dos custos de fabricação e na incorporação de características distintivas nas células e módulos, direcionadas para usos

específicos, como em sistemas integrados em edificações (BIPV). Convém ressaltar que as células solares de terceira geração ainda estão em estágios iniciais de desenvolvimento e pesquisa.

4.2.SISTEMA FOTOVOLTAICO

4.2.1. Sistemas autônomos ou isolado (*off grid*)

Os sistemas autônomos ou isolados, também conhecidos como sistemas off-grid, são configurações de energia que operam de maneira independente e não estão conectados à rede elétrica principal. Esses sistemas são projetados para fornecer energia em locais remotos ou áreas onde o acesso à eletricidade da rede é limitado ou inexistente. Eles são compostos por fontes de geração de energia, como painéis solares ou turbinas eólicas, sistemas de armazenamento de energia, como baterias, e dispositivos de gerenciamento de carga.

Os sistemas autônomos são extremamente úteis em cenários em que a infraestrutura elétrica não está disponível ou é impraticável de ser estabelecida. Eles são frequentemente usados em locais remotos, como comunidades isoladas, estações meteorológicas, torres de telecomunicações, áreas rurais e locais de pesquisa. Além disso, sistemas off-grid são uma opção valiosa para aplicações de emergência, como em situações de desastres naturais, onde a rede elétrica convencional pode estar danificada ou inoperante.

Esses sistemas proporcionam independência energética, permitindo que locais remotos ou áreas em desenvolvimento tenham acesso a eletricidade confiável e contínua. Eles também são uma solução sustentável, frequentemente incorporando fontes de energia renovável, o que ajuda a reduzir a dependência de combustíveis fósseis e diminuir as emissões de gases de efeito estufa. No entanto, os sistemas autônomos também enfrentam desafios, como a necessidade de dimensionamento adequado para atender à demanda de energia, a manutenção dos componentes do sistema e a gestão eficiente do armazenamento de energia para garantir fornecimento contínuo.

4.2.2. Sistemas ligados à rede (*on grid*)

Os sistemas ligados à rede elétrica, também conhecidos como sistemas on-grid, são configurações de energia que estão conectadas à rede elétrica convencional. Nesses sistemas, a energia gerada a partir de fontes renováveis, como painéis solares ou turbinas eólicas, é alimentada diretamente na rede elétrica, e os consumidores podem consumir essa energia em tempo real ou acumular créditos para uso posterior. Os sistemas on-grid são altamente relevantes em áreas urbanas ou locais com acesso à rede elétrica.

Esses sistemas oferecem vantagens significativas, como a possibilidade de compartilhar o excesso de energia gerada com a rede, resultando em economias para o consumidor na forma de créditos de energia. Além disso, os sistemas on-grid permitem que os consumidores não apenas reduzam suas contas de eletricidade, mas também contribuam para a sustentabilidade e redução das emissões de carbono, uma vez que a energia gerada é limpa e renovável.

Os sistemas ligados à rede também proporcionam um nível de segurança energética, uma vez que os consumidores podem contar com a rede elétrica convencional como fonte de backup em momentos em que a geração local de energia é insuficiente. No entanto, esses sistemas estão sujeitos à regulamentação e políticas do setor de energia, e a viabilidade econômica pode variar dependendo das tarifas de eletricidade, incentivos governamentais e outros fatores locais.

4.2.3. Sistemas híbridos

Sistemas híbridos são configurações que combinam diferentes fontes de energia, frequentemente incluindo fontes renováveis e convencionais, para suprir as necessidades de energia de forma mais eficiente e confiável. Esses sistemas buscam otimizar a utilização de múltiplas fontes de energia, integrando, por exemplo, painéis solares, turbinas eólicas, geradores a diesel e sistemas de armazenamento de energia. A combinação de diversas fontes permite uma maior flexibilidade e adaptabilidade, tornando os sistemas híbridos ideais para locais onde o fornecimento de energia é instável, em áreas remotas ou em situações de demanda flutuante.

A principal vantagem dos sistemas híbridos é a capacidade de fornecer energia de maneira contínua e confiável, mesmo em condições variáveis de geração ou demanda.

Esses sistemas podem maximizar o uso de fontes de energia renovável, reduzindo os custos operacionais e as emissões de gases de efeito estufa. Além disso, a inclusão de sistemas de armazenamento de energia, como baterias, permite o armazenamento do excesso de energia gerada para uso posterior, melhorando a eficiência global do sistema. Os sistemas híbridos são uma abordagem promissora para garantir o fornecimento de energia sustentável e estável em uma variedade de cenários, contribuindo para a transição para uma matriz energética mais limpa e resiliente.

4.3.EQUIPAMENTOS AUXILIARES

4.3.1. Controladores de carga

Os controladores de carga desempenham um papel crucial na eficiência e durabilidade dos sistemas fotovoltaicos, atuando como um elo essencial entre os painéis solares e as baterias de armazenamento. Esses dispositivos têm a responsabilidade de regular a quantidade de energia que flui dos painéis solares para as baterias, evitando sobrecargas que podem comprometer a vida útil das baterias e otimizando o carregamento para aumentar a eficiência do sistema.

Existem diferentes tipos de controladores de carga, sendo os mais comuns os controladores PWM (Modulação por Largura de Pulso) e MPPT (Rastreamento do Ponto de Máxima Potência). Os controladores PWM são mais simples e adequados para sistemas menores, enquanto os controladores MPPT são mais avançados e eficientes, capazes de rastrear o ponto de máxima potência dos painéis solares para garantir a maior produção de energia possível.

4.3.2. Baterias

As baterias são componentes essenciais em sistemas fotovoltaicos, permitindo o armazenamento da energia solar gerada durante o dia para uso posterior, geralmente durante a noite ou em momentos de baixa produção. A escolha adequada das baterias é crucial para a eficiência e confiabilidade do sistema. Baterias de chumbo-ácido são

comuns em sistemas fotovoltaicos devido à sua confiabilidade e custo relativamente baixo. No entanto, baterias mais avançadas, como as de íon-lítio, estão ganhando popularidade devido à sua maior eficiência de carga e descarga, maior densidade de energia e ciclo de vida mais longo.

O tipo de bateria escolhido deve estar alinhado com as necessidades específicas do sistema, levando em consideração fatores como capacidade de armazenamento, vida útil, profundidade de descarga e temperatura de operação. Além disso, a implementação de um sistema de gerenciamento de bateria adequado é fundamental para monitorar o estado de carga, otimizar as operações de carga e descarga e prolongar a vida útil das baterias. Em última análise, a seleção e o uso adequado das baterias desempenham um papel crítico na eficiência e no desempenho geral de um sistema fotovoltaico.

4.3.3. Inversores

Os inversores são peças-chave em sistemas fotovoltaicos, pois desempenham o papel de converter a corrente contínua (CC) gerada pelos painéis solares em corrente alternada (CA), que é a forma de eletricidade usada nas residências e empresas. Existem diferentes tipos de inversores disponíveis no mercado, cada um com suas próprias características e aplicações. Os inversores de string são comuns em sistemas fotovoltaicos residenciais e comerciais devido à sua eficiência e custo acessível. Por outro lado, os microinversores são instalados em cada painel solar, otimizando a geração de energia, especialmente em situações de sombreamento ou desempenho desigual dos painéis.

A escolha do inversor apropriado depende de fatores como a configuração do sistema, a qualidade da energia de saída desejada, as condições ambientais e o orçamento disponível. Além de converter a corrente, os inversores modernos também podem desempenhar funções avançadas, como monitorar o desempenho do sistema, fornecer proteção contra sobretensões e até mesmo integrar-se a sistemas de gerenciamento de energia inteligente. A qualidade e a confiabilidade do inversor são essenciais para garantir a eficiência operacional e a longevidade do sistema fotovoltaico como um todo.

4.4.MODELOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA

4.4.1. Geração Centralizada (GC)

A geração de energia solar centralizada é uma abordagem que envolve a concentração de um grande número painéis solares ou sistemas de coleta solar em uma única localização, geralmente em grandes usinas solares com capacidade instalada superior a 3 MW. Uma das principais vantagens da geração solar centralizada é a capacidade de aproveitar eficientemente a irradiação solar em locais de alta incidência solar, permitindo a criação de usinas solares de grande porte, capazes de gerar uma quantidade significativa de eletricidade, que é então injetada na rede elétrica para ser distribuída aos consumidores. Esse modelo de geração vem sendo amplamente implementado por capital nacional e estrangeiro em regiões como o sertão nordestino em áreas que podem chegar a 3.000 ha. O baixo custo das terras e alta incidência solar nessas regiões preveem um retorno atrativo para altos investimentos.

A energia gerada pelas usinas solares centralizadas é comercializada, principalmente, de duas maneiras: Contratos de Compra de Energia (Power Purchase Agreements - PPAs) e o Mercado de Energia.

Os PPAs são acordos contratuais entre os proprietários das usinas solares e as empresas de serviços públicos, consumidores industriais ou comerciais que concordam em comprar a energia gerada por um período específico, geralmente de 10 a 25 anos. Nesse modelo, o preço da eletricidade é fixado no início do contrato ou pode ser ajustado anualmente com base em índices preestabelecidos, o que ajuda a fornecer previsibilidade aos investidores e compradores. Nesse modelo, os proprietários das usinas solares têm a garantia de que sua produção de energia será comprada a um preço acordado, o que facilita o acesso ao financiamento e reduz os riscos. Por sua vez, os compradores se beneficiam da obtenção de energia renovável a longo prazo, muitas vezes a preços competitivos em relação às fontes convencionais de energia.

Já no mercado de energia, em alguns sistemas elétricos, a energia gerada pelas usinas solares centralizadas é vendida diretamente por meio de dois ambientes: Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e Ambiente de Contratação Livre (ACL). Nesse modelo, os preços da eletricidade flutuam em tempo real de acordo com a oferta e a demanda,

refletindo as condições do mercado. As usinas solares podem vender energia quando os preços estão altos, maximizando seus ganhos, e reduzir a produção quando os preços estão baixos. Isso oferece flexibilidade e oportunidades para os proprietários das usinas solares se adaptarem às variações de preços. No entanto, também envolve riscos, pois os preços de mercado podem ser voláteis e sujeitos a flutuações sazonais e climáticas. Portanto, os investidores precisam gerenciar esses riscos e monitorar de perto as condições do mercado para otimizar a venda de energia.

4.4.2. Geração Distribuída (GD)

A geração distribuída é um paradigma inovador na produção de energia elétrica, que se concentra em instalações menores, descentralizadas e próximas aos pontos de consumo. Esse modelo contrasta com a geração centralizada, que ocorre em grandes usinas distantes dos centros urbanos. A geração distribuída utiliza principalmente fontes de energia renovável, como a solar fotovoltaica, e busca maximizar a eficiência energética e reduzir perdas na transmissão.

Uma das principais características da geração distribuída é a possibilidade de consumidores individuais ou empresas se tornarem geradores de energia, instalando painéis solares em telhados ou terrenos. O excedente de energia gerado pode ser injetado na rede elétrica, por meio de sistemas de compensação ou de medição bidirecional, e posteriormente consumido ou compartilhado com outros consumidores.

A comercialização da energia gerada na geração distribuída pode ocorrer de diversas formas: Compensação de Energia (Net Metering) e Comunidades de Energia. No sistema de Compensação de Energia, a energia excedente gerada pelos sistemas fotovoltaicos é injetada na rede elétrica, revertendo em créditos de energia para o consumidor. Esses créditos podem ser utilizados para abater o consumo de energia da unidade consumidora em momentos em que a geração é insuficiente, como durante a noite. No final do mês ou de um período determinado, o consumidor paga apenas pela diferença líquida entre o que consumiu e o que injetou na rede.

O modelo de Comunidades de Energia, consiste em grupos de consumidores compartilhando a produção excedente de sistemas fotovoltaicos em uma área específica. Essa abordagem possibilita a distribuição equitativa dos benefícios da geração

distribuída, mesmo entre aqueles que não têm condições de instalar painéis solares. Há também a possibilidade de formação de grupos que contratam a energia de uma usina fotovoltaica operante, por um preço menor que o cobrado pela concessionária. Normalmente esses contratos são intermediados por uma empresa chamada de comercializadora, a qual conecta os indivíduos que querem contratar a energia e o produtor, cobrando uma taxa pela energia comercializada. Esse modelo garante uma redução na tarifa dos consumidores, receita financeira ao produtor e à comercializadora.

A geração distribuída proporciona autonomia energética aos consumidores, reduzindo sua dependência das concessionárias elétricas e contribuindo para uma matriz energética mais sustentável. Além disso, estimula a criação de empregos locais, fomenta a inovação tecnológica e contribui para a estabilidade da rede elétrica ao diminuir a demanda nos horários de pico.

5. RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR PEDREIRAS

A recuperação de áreas degradadas provenientes de atividades de extração em pedreiras emerge como um tópico de crescente relevância no cenário ambiental contemporâneo. A expansão das indústrias de construção e infraestrutura tem desencadeado a exploração intensiva de recursos minerais, muitas vezes resultando em significativos impactos ambientais. O desafio de reverter essas alterações e promover a regeneração dessas áreas degradadas é um imperativo para as práticas sustentáveis de uso da terra e conservação dos ecossistemas.

No século XIX, as primeiras pedreiras surgiram no Brasil, utilizando métodos de extração rudimentares e de ritmo lento. Os materiais de construção eram obtidos de aluviões ou de afloramentos rochosos, estes últimos frequentemente desagregados através de cunhas e, às vezes, fragmentados por meio de perfurações e explosões com pólvora caseira

Figura 8: Foto da área de operação de uma pedreira.



Fonte: <https://britagemvogelsanger.com.br/diversos/o-que-uma-pedreira-faz/>

Os principais produtos resultantes desse processo são areia e pedra britada, caracterizados por apresentar baixo valor agregado e produções em larga escala. O transporte, que corresponde a aproximadamente dois terços do custo final do produto, torna crucial a produção destes materiais em locais próximos a aglomerações urbanas. Entretanto, um desafio significativo é a crescente urbanização, que muitas vezes inviabiliza áreas de extração valiosas ou impõe restrições à atividade. A ocupação de territórios próximos a pedreiras por habitações e a imposição de regulamentações ambientais geram desafios consideráveis para as operações de mineração em curso. Isso resulta na necessidade de localizar novas áreas de extração a distâncias cada vez maiores dos centros de consumo, impactando diretamente no aumento do custo final dos produtos.

5.1. IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS

Nas pedreiras, as mudanças no ambiente se manifestam predominantemente na paisagem, no meio atmosférico (com a presença de partículas suspensas no ar), nos recursos hídricos (provocando assoreamento e contaminação de corpos d'água), nas características geomorfológicas e nas encostas (gerando instabilidade de taludes e modificações no relevo) e, não menos importante, nas alterações da vida vegetal e animal (Bacci et al. 2006).

Conforme observado por Gehlen 2009, um caso exemplar é a extração de basalto, que resulta em transformações significativas no terreno e uma completa reconfiguração da paisagem. Essas modificações da superfície se manifestam de maneira mais evidente nos aspectos estéticos, relacionados aos elementos visuais como linhas, formas, texturas, escala, complexidade e cores que constituem a paisagem. Consequentemente, essas alterações têm impactos tanto topográficos quanto vegetativos e hídricos na área imediatamente afetada pelo empreendimento. Os impactos, normalmente observados, são na sua grande maioria, são de efeitos negativos, direto, curto prazo, temporário e reversível (Lopes 2017).

Para a elaboração de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e seu subsequente Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), visando à obtenção do licenciamento para atividades de pedreira em geral, diversos fatores são criteriosamente avaliados. Estes incluem a avaliação da capacidade de exploração da jazida, a localização estratégica em relação ao mercado consumidor e a realização de diagnósticos abrangentes dos aspectos físicos, biológicos e sociais relevantes.

O meio ambiente compreende um conjunto de agentes físicos, químicos e biológicos, além de fatores sociais, que têm o potencial de gerar impactos diretos ou indiretos, tanto imediatos quanto futuros, sobre as formas de vida e atividades humanas.

Dentro do meio físico são avaliados a geologia, os solos, os mananciais hídricos superficiais e subterrâneos, o clima e a geomorfologia. Nos fatores biológicos, a ênfase é para a cobertura vegetal (flora) e a fauna locais. No meio antrópico destacam-se as populações atingidas de forma direta e indireta pelas atividades de exploração e os benefícios trazidos para as populações atendidas pelo fornecimento de material pétreo para a constituição de agregados (Naime 2006). Abaixo é apresentado o Quadro 1 com os impactos ambientais de atividades recorrentes na mineração de pedreiras.

Quadro 1: impactos ambientais recorrentes na mineração de pedreiras.

Meio	Atividade	Medida Mitigadora
Físico	Erosão	1) Controle de drenagem superficial 2) Enleivamento e plantio de gramíneas
	Instabilização de taludes naturais em solos ou rochas	1) Cálculos de Estabilidade de Taludes Naturais 2) Cálculos de Estabilidade de Cortes e Escavações 3) Controles de drenagem
	Assoreamento de cursos de água superficiais	1) Diques ou barragens de rejeito 2) Enrocamentos de filtragem
	Poluição visual	1) Uso de cortinas verdes
	Ruídos e vibrações de explosões	1) Diminuição de taludes e bancadas 2) Redução das cargas de explosivos
	Tráfego de maquinário	1) Aspersão de água nos pátios de manobras 2) Calçamento dos pátios 3) Redução do tamanho do maquinário
	Beneficiamento da rocha	1) Ajustes no maquinário para redução de ruídos
	Poeira de perfuração	1) Redução dos buracos com menores cargas de explosivos
	Poeira de beneficiamento	1) Instalação de filtros coletores de poeira 2) Instalação de cortinas vegetais
	Poeira de transporte	1) Aspersão de água sobre as tarefas de carregamento e descarregamento de veículos transportadores. 2) Redução do tamanho dos veículos
	Disposição de estéril	1) Escolha de pátio acima do lençol freático 2) Instalação de diques de contenção 3) Instalação de barragens de rejeito 4) Reutilização de estéril para recomposição paisagística e
	Manutenção e lavagem de equipamentos	1) Instalação de pisos e canaletas coletoras de água na área de manutenção 2) Instalação de caixas separadores de água e óleo 3) Instalação de bacias de decantação.
Biológico	Impactos sobre flora	1) Instalação de zonas de conservação ambiental 2) Instalação de reservas ecológicas 3) Planejamento de lavra protegendo áreas de elevada suscetibilidade.
	Impactos sobre a fauna	1) Criação de zonas de preservação ou reservas 2) Controle de horários buscando favorecer menor dispersão de fauna
Antrópico	Impactos sobre as populações circundantes	1) Monitoramento dos meios físico e biológico 2) Participação das comunidades
	Impactos sobre as áreas beneficiadas pela produção	1) Avaliação da redução de custo dos materiais para agregados 2) Geração de emprego, renda e impostos

Fonte: Adaptado de Naime e Garcia, 2005.

5.2. PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO

A abordagem proposta para a recuperação de áreas degradadas pela extração mineral é amplamente interdisciplinar, combinando o conhecimento de diversas disciplinas, como geologia, hidrologia, biologia, engenharia, arquitetura paisagística e silvicultura, entre outras. Essa abordagem multidisciplinar visa a oferecer soluções abrangentes para os desafios enfrentados, resultando em maior eficácia e desempenho das intervenções realizadas. No entanto, de maneira geral, é possível identificar algumas etapas essenciais que todos os projetos de recuperação devem atravessar. Essas etapas incluem a avaliação preliminar, o planejamento, a implementação de medidas e a gestão e monitoramento contínuos.

A recuperação deve consistir em restabelecer a diversidade biológica e restaurar os processos ecológicos afetados pela exploração, enfatizando a criação de paisagens o mais naturais possível e a compatibilidade com o meio envolvente. Para isso, os autores referem-se à manipulação do solo, estabilização física de declives e vegetação como os três pilares básicos para a reabilitação de pedreira.

Apesar de a recomposição completa da cava final ser a opção ideal em termos de restauração, essa alternativa nem sempre é viável devido a fatores econômicos ou à indisponibilidade de materiais inertes. Por essa razão, em grande parte das situações, é necessário realizar uma moldagem dos taludes finais. Isso visa a criar um perfil que atenda a requisitos geotécnicos de estabilidade e esteja harmonizado com a morfologia característica do entorno. Além disso, esse perfil adaptado deve propiciar a introdução eficaz da vegetação, contribuindo para o processo de recuperação ambiental.

A gestão da drenagem das águas resultantes das chuvas desempenha um papel crucial no processo de recuperação de áreas degradadas. Isso assegura que a praça da pedreira não se torne uma área sujeita a inundações, viabilizando a posterior implantação de vegetação. Essa drenagem pode ser efetuada por meio de valas direcionando as águas para uma bacia de decantação. Após o processo de decantação das partículas em suspensão, a água é encaminhada para os cursos naturais. Em situações em que se trata de pedreiras a céu aberto, há a possibilidade de optar por permitir a emergência da água, originando assim um lago extenso, ou então proceder ao preenchimento da cava com solo, evitando o surgimento desse corpo d'água.

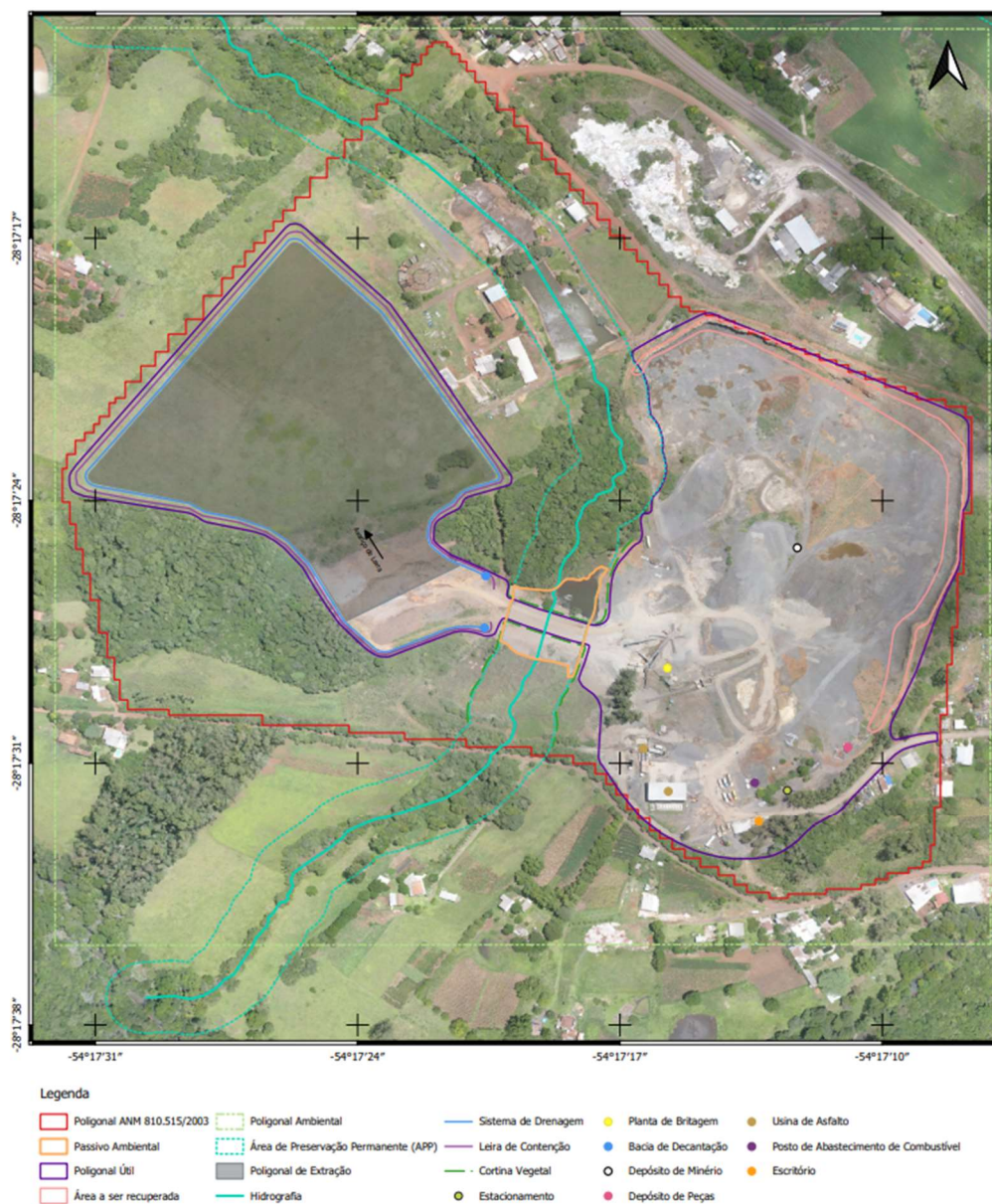
6. METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo do estudo, será realizado um estudo de viabilidade econômica e ambiental da implantação da UFV, levando em consideração custos na instalação e operação, bem como a geração de energia elétrica a partir da fonte solar como retorno previsto. Serão avaliados indicadores econômicos, como o retorno sobre o investimento, o *payback* e a taxa interna de retorno, com o intuito de determinar a viabilidade financeira do projeto. Além disso, serão considerados impactos sobre os aspectos ambientais e sociais, buscando-se uma análise das áreas correlatas, visando contribuir para a sustentabilidade e a melhoria do ambiente local.

6.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A área selecionada para aplicação da metodologia do estudo possui cerca de 28,6 hectares e encontra-se situada na Rodovia RS 344, km 93, Rincão dos Moscon, Santo Ângelo, conforme Figura 9.

Figura 9: Área de estudo e delimitações internas.



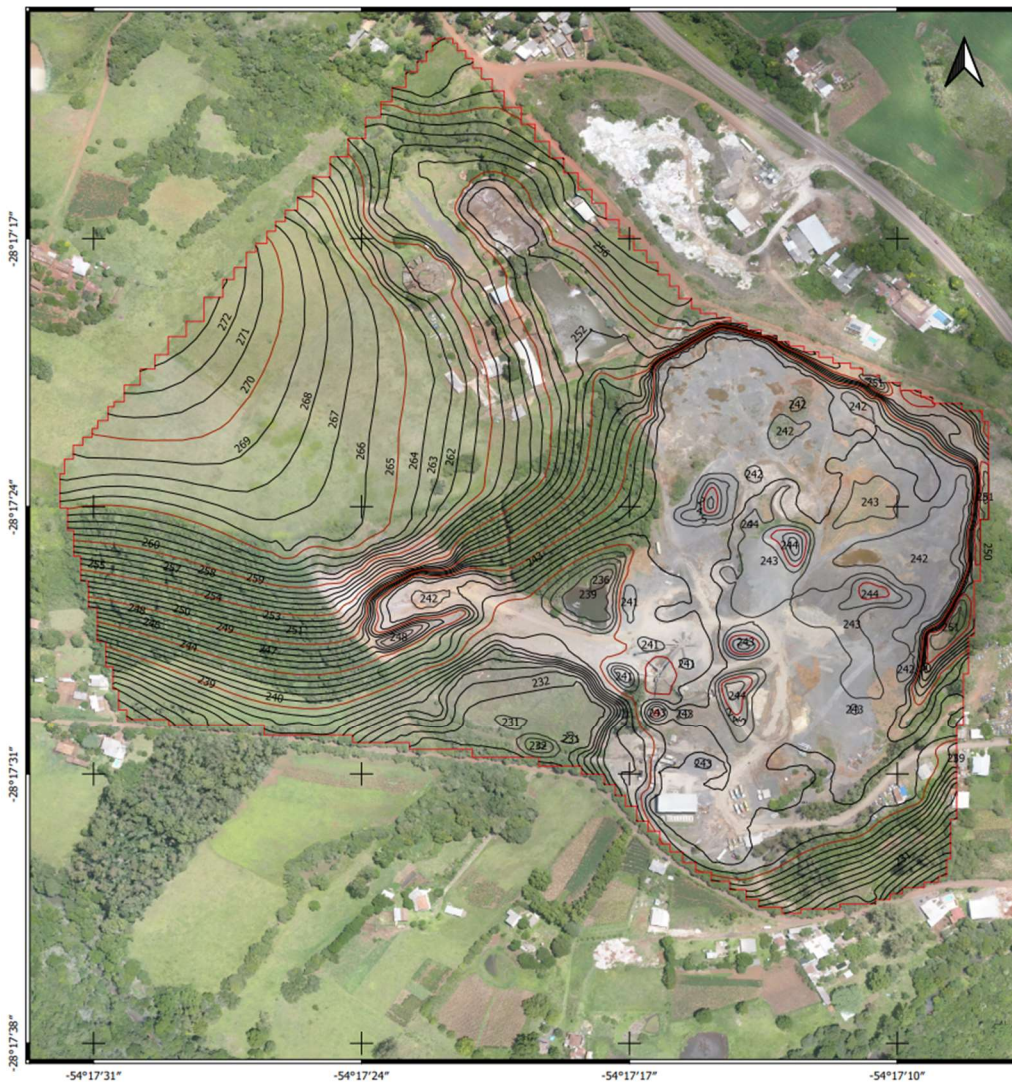
Fonte: PCA atualizado, 2020.

Santo Ângelo é um município localizado na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, também conhecida como região das Missões, a aproximadamente 460 km

a noroeste da capital estadual, Porto Alegre. Faz divisa com outros municípios, incluindo Entre-Ijuís, São Miguel das Missões, Vitória das Missões, Catuípe, São Luiz Gonzaga e Giruá. Com um clima subtropical úmido possui verões quentes e invernos frios.

De acordo com estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2022, Santo Ângelo tinha uma população de aproximadamente 76.917 habitantes. A economia do município é diversificada, abrangendo setores como agricultura, pecuária, indústria, extrações de recursos naturais, comércio e serviços. Destacam-se a produção agrícola, especialmente de soja, milho e trigo, e a atividade agropecuária, com destaque para a criação de bovinos e suínos. O destaque das atividades agrícolas se dá pela presença predominante do solo Latossolo Vermelho Distroférico típico.

Figura 10: Mapa planialtimétrico da área de estudo.



Fonte: Geosul, 2020.

No que diz respeito aos recursos hídricos, a região é beneficiada pela presença de importantes rios, como o Rio Ijuí e o Rio Jaguari, que contribuem para a disponibilidade de água. Além disso, existem diversos cursos d'água menores, córregos e açudes na área, fornecendo recursos hídricos importantes para o abastecimento de água potável, a agricultura e a pecuária.

6.1.1. Escolha da área

Para escolha da área foram comparados parâmetros importantes para a geração de energia por placas fotovoltaicas de três áreas degradadas pela extração e basalto, conhecidas também como pedreiras, localizadas no estado do Rio Grande do Sul. As áreas inicialmente mapeadas são todas do mesmo proprietário, o qual forneceu a localização para tal comparação. Alguns parâmetros, como geologia, clima, pluviosidade e incidência solar, alteram pouco por conta da proximidade das localidades. Apesar da importância para cálculo do potencial gerador, não foram utilizados nessa análise prévia da área.

A escolha da área levou em conta, principalmente, as características do terreno em questão, mais especificamente os parâmetros: inclinação máxima, orientação, vegetação, presença de cursos hídricos e presença de sombras ao longo do ano. Além disso, também foram levados em consideração os Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) de cada empreendimento através de uma análise preliminar da qualidade do material e complexidade para execução da recuperação.

Para investigação das áreas foi utilizado o software livre *Google Earth Pro*, onde é possível entender as características do terreno de forma geral com a especificidade necessária para tomada de decisão de escolha. Com o software é possível entender o perfil de elevação do terreno e verificar presença de vegetação e corpos hídricos.

Os PRAD das áreas foram fornecidos pelo proprietário, porém também foram acessados ao verificar todo o processo de licenciamento dos empreendimentos no Sistema Online de Licenciamento (SOL) do estado do Rio Grande do Sul.

A área apresentada no presente estudo é resultado de uma análise preliminar utilizando as documentações e informações disponíveis, sem qualquer visita ou aprofundamento em outros parâmetros aqui não citados.

6.1.2. Geologia

Área localizada próxima a Santo Ângelo apresenta características geológicas interessantes, sendo parte integrante da região do Planalto Meridional do Rio Grande do Sul. A geologia da região é dominada por formações sedimentares, principalmente de origem basáltica, que foram formadas há milhões de anos devido à atividade vulcânica na área. Essas formações basálticas são responsáveis pela presença do solo Latossolo Vermelho Distroférico típico.

Figura 11: Foto do Latossolo Vermelho Distroférico típico em Santo Ângelo.



Fonte: <https://www.ufsm.br/museus/msrs/unidade-de-solos>

Esses solos são solos profundos (a espessura é maior que 200 cm, podendo atingir mais de 400 cm), bem drenados, friáveis, de coloração vermelha escura e desenvolvidos a partir de basalto. Ocorrem em relevo ondulado. A textura é muito argilosa (mais de 60% de argila em toda a extensão), sendo sua fração areia é muito reduzida (menos de 10%). Os perfis são muito homogêneos, não apresentando grandes diferenciações entre os horizontes.

Possuem fertilidade natural elevada e erosão moderada, sendo um importante parâmetro a ser levado em conta no uso das áreas.

6.1.3. Pluviosidade

Quanto à pluviosidade média anual, a região próxima a Santo Ângelo apresenta um clima subtropical úmido. As médias de precipitação variam ao longo do ano, com uma estação chuvosa no verão e uma estação mais seca no inverno. As médias de pluviosidade podem variar entre 1.200 a 1.800 mm por ano.

Em relação à pluviosidade mensal, é importante destacar que a distribuição das chuvas pode variar consideravelmente. Nos meses de verão, como dezembro, janeiro e fevereiro, é comum ocorrerem chuvas mais intensas, muitas vezes na forma de tempestades e trovoadas. Já nos meses de inverno, como junho e julho, as chuvas são geralmente menos frequentes e menos intensas.

6.1.4. Incidência solar

O recurso solar depende de uma sequência de aspectos tais como condições climáticas, atmosféricas, latitude, hora do dia, dia do ano. No que se refere às condições climáticas os principais fatores são umidade relativa do ar, nebulosidade, entre outros. A latitude influencia no ângulo de incidência dos raios solares na superfície da Terra. A massa de ar na atmosfera é influenciada pela hora do dia, onde os raios solares precisam atravessá-la para atingir a superfície da Terra. E por fim, o dia do ano, influenciado pelas estações climáticas, onde o recurso solar estará em maior ou menor presença durante o dia (SECUNDES 2015). A área está situada em uma região com totais anuais de irradiação normal direta entre 1.680 e 1972 kWh/m², como marcada em azul na Figura 12.

Figura 12: Mapa da irradiação normal direta no território brasileiro.



Fonte: Global Solar Atlas, Banco Mundial, 2023.

Abaixo são apresentados quadros com os dados de incidência solar diária obtidos de três estações da CRESESB.

Quadro 2: Irradiação solar mensal média medida em estações em Santo Ângelo.

Município	UF	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]															
		Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Santo Angelo	RS	28,301° S	54,249° O	3,9	6,46	5,99	5,18	4,01	3,07	2,52	2,82	3,56	3,99	5,15	6,28	6,71	4,64
Santo Angelo	RS	28,301° S	54,349° O	6,2	6,49	6,03	5,16	4,03	3,07	2,51	2,82	3,58	4	5,12	6,31	6,74	4,65
Santo Angelo	RS	28,201° S	54,249° O	10,6	6,48	6,03	5,16	4,04	3,1	2,54	2,82	3,62	4	5,13	6,26	6,69	4,66

Fonte: Adaptado de CRESESB, 2023.

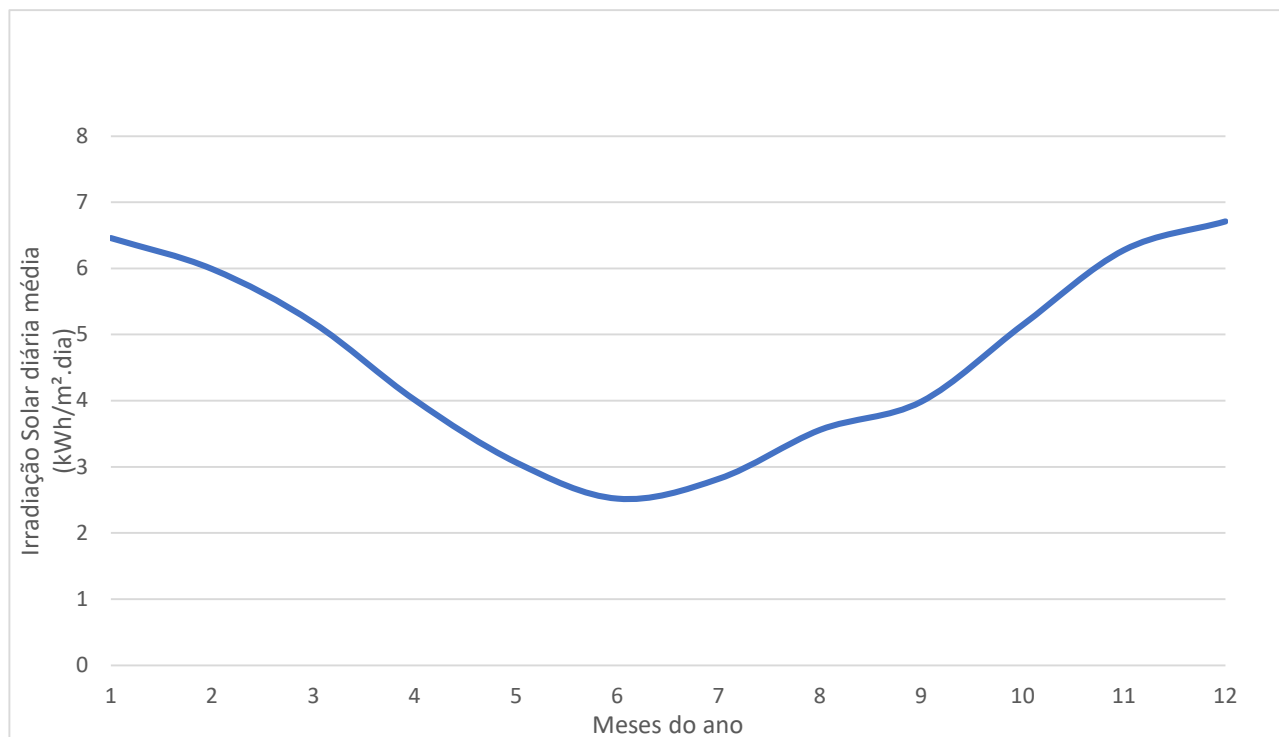
Quadro 3: Irradiação solar mensal média da primeira estação em diferentes ângulos.

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Plano Horizontal	0° N	6,46	5,99	5,18	4,01	3,07	2,52	2,82	3,56	3,99	5,15	6,28	6,71	4,64
Ângulo igual a latitude	28° N	5,76	5,73	5,46	4,77	4,06	3,47	3,82	4,42	4,35	5,07	5,69	6,74	4,87
Maior média anual	22° N	5,98	5,86	5,48	4,67	3,9	3,31	3,66	4,3	4,33	5,16	5,9	6,69	4,89

Fonte: Adaptado de CRESESB, 2023.

Utilizando os dados da estação mais próxima à área de estudo, é apresentado o gráfico de irradiação solar mensal média.

Figura 13: Gráfico da irradiação solar mensal média em Santo Ângelo.



Fonte: Autor.

A irradiação solar anual da área de estudo é de aproximadamente 1.694 kWh/m² em uma área de 286.021 m², portanto temos uma irradiação solar anual de 4.844.405,17 kWh na área de estudo.

6.1.5. Atividade econômica

Hoje a área possui como atividade econômica a mineração de basalto. O basalto é uma rocha ígnea de origem vulcânica muito comum na região, devido às atividades vulcânicas ocorridas no passado. Essa rocha apresenta características físicas e químicas que a tornam adequada para diversos usos, como na construção civil, produção de agregados para pavimentação, fabricação de cimento e até mesmo na produção de rochas ornamentais.

Figura 14: Pátio de armazenamento do empreendimento, com presença dos produtos.



Fonte: Relatório fotográfico do proprietário, 2023.

A mineração de basalto ocorre por meio de pedreiras, onde a rocha é extraída a céu aberto. O basalto é geralmente removido por explosões controladas e, em seguida, é realizada a britagem e classificação para obtenção dos diferentes tamanhos de agregados necessários para os diversos fins.

6.2.DIMENSIONAMENTO DA UFV

6.2.1. Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos

Os principais fatores que envolvem um dimensionamento de um sistema fotovoltaico são: orientação dos painéis, disponibilidade de área, estética, disponibilidade do recurso solar e demanda a ser atendida (CEPEL et al. 2014). Nesse caso o guia do dimensionamento foi uma potência instalada fixa de 1 MWp, arbitrada por conta da área disponível e ser enquadrada como minigeração na Resolução Normativa Aneel N° 482/2012. A partir dessa potência e da escolha de um módulo fotovoltaico é possível calcular o número de módulos necessários no SFV.

$$N_{\text{mód}}^{\text{o}} = \frac{P_{fv}}{P_{\text{mód}}}$$

Onde:

$N_{\text{mód}}^{\text{o}}$: número de módulos fotovoltaicos;

P_{fv} : potência do sistema fotovoltaico [W];

$P_{\text{mód}}$: potência nominal máxima do módulo [W].

O módulo foi escolhido com base em pesquisa no site do fabricante Canadian Solar, reconhecido internacionalmente por ser um dos maiores fabricantes do mundo. A escolha levou em conta a potência nominal, data de lançamento do produto e tecnologia de geração utilizada.

6.2.2. Dimensionamento do inversor

O dimensionamento de um inversor depende da potência do gerador FV e tecnologia e características elétricas do módulo escolhido para compor o gerador, características ambientais do local, além da topologia de instalação escolhida (ex.: inversor central, inversor descentralizado, microinversor, instalação interna ou externa.)

O dimensionamento do sistema deve ser realizado de maneira que o inversor não trabalhe por muito tempo em potências demasiadamente abaixo da nominal nem seja sobrecarregado. Utilizando-se um inversor de menor capacidade (e, portanto, menor custo) para um mesmo gerador FV sem impactar na quantidade de energia e na confiabilidade do sistema, a energia gerada tende a ser mais barata. Contudo, de uma forma conservadora a potência do inversor pode ser igual à potência nominal da geração (CEPEL et al. 2014).

6.2.3. Estimativa de geração

Nas estimativas de produção de energia elétrica, é útil ignorar os efeitos de variação da irradiância a cada instante e considerar a totalidade da energia elétrica convertida em intervalos horários. Como há uma forte linearidade entre a produção de energia e a irradiação horária, este conceito pode ser estendido, gerando uma forma

bastante conveniente de se expressar o valor acumulado de energia solar ao longo de um dia: o número de Horas de Sol Pleno (HSP). Esta grandeza reflete o número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m² (1.000 W/m²), de forma que a energia resultante seja equivalente à energia disponibilizada pelo Sol no local em questão, acumulada ao longo de um dado dia. Para o trabalho em questão foi utilizado o ângulo de maior média anual, correspondendo à inclinação recomendada para implantação dos módulos.

$$HSP = \frac{\text{Irradiância do Local}}{1}$$

Onde:

HSP: horas de sol pleno

Irradiância do Local: valor de irradiância [kW/m². dia]

A partir do HSP, é possível descobrir a potência gerador do sistema ao multiplicar o HPS, número de dias do mês, Potência máxima do módulo e número de módulos.

$$P_{total} = HSP * D_{mês} * P_{mód} * N_{mód}^o$$

Onde:

P_{total} : potência nominal total

HSP: horas de sol pleno

$D_{mês}$: quantidade de dias no mês

$P_{mód}$: potência nominal máxima do módulo [W]

$N_{mód}^o$: número de módulos fotovoltaicos;

É preciso, ainda, levar consideração a potência real do sistema sob condições de operação e todas as perdas envolvidas, como perdas por queda de tensão devido à resistência de conectores e cabeamento, sujeira na superfície do painel, sombreamento, eficiência do inversor, carregamento do inversor, descasamento entre módulos de mesmo modelo (diferenças entre as suas potências máximas), resposta espectral, temperatura operacional, dentre outras. Para isso, utiliza-se a Taxa de Desempenho a qual indica a relação entre o desempenho real do sistema sobre o desempenho máximo teórico possível.

Os fabricantes apresentam como padrão uma taxa de desempenho de 80%. Estudos recentes mostram que SFV localizados no sul do Brasil estão apresentando taxa de desempenho entre 79 e 81% (TONOLO 2019). Essa taxa pode variar conforme sujidade, temperatura, descasamento, sombreamento, entre outros fatores, portanto a finalidade do cálculo deve guiar a confiabilidade e escolha do percentual da taxa.

Por conta de a geração anual ser importante para os cálculos financeiros posteriores, é utilizada uma redução da Taxa de Desempenho ao longo dos anos, fornecida pelo fabricante de 2,5% no primeiro ano e 0,7% nos anos posteriores.

6.3. PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA

O Plano de Recuperação da Área Degradada foi elaborado com base no embasamento fornecido pelo Plano de Controle Ambiental do Empreendimento, extraído do Sistema de Licenciamento Ambiental (SOL). Nesse processo, foram realizadas algumas adaptações específicas para viabilizar a implantação da Usina Fotovoltaica (UFV) no local.

A partir do diagnóstico apresentado no capítulo 6.6 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA, foi feita a identificação dos possíveis impactos ambientais, a proposição de medidas mitigadoras e de recuperação ambiental. Assim, o Plano de Recuperação da Área Degradada representa um guia para a reabilitação sustentável da área, visando a implementação futura da UFV em uma pequena parcela do terreno. Entretanto, como o detalhamento do plano não é um dos objetivos do trabalho, mas sim as alterações que a implementação da UFV acarretará, o mesmo é apresentado com grau de superficialidade.

6.4. ANÁLISE FINANCEIRA DA UFV

A tomada de decisões de investimento envolve a alocação de recursos financeiros em ativos de curto prazo (circulantes) e de longo prazo (realizáveis a longo prazo e permanentes), levando em conta a busca por um equilíbrio entre os riscos envolvidos e os retornos esperados dos investimentos realizados. Para isso, se faz necessário a aplicação de metodologias de análise financeira, que visam fornecer informações que auxiliem e embasem a tomada de decisão dos investidores.

6.4.1. Premissas adotadas

Para a realização de cálculos financeiros voltados para a análise de viabilidade econômica, é imperativo estabelecer premissas sólidas que formem a base para projeções futuras. Essas premissas são fundamentais para compreender o desempenho financeiro potencial de um projeto, permitindo avaliar se ele é viável e atrativo em termos de retorno sobre o investimento. As premissas representam as condições iniciais e os fatores subjacentes que influenciarão as projeções financeiras ao longo do tempo, para esse caso foram adotados o fator preço, tarifa da concessionária, desconto para o consumidor final, reajuste tarifário, tarifa de uso do sistema distribuído (TUSD) e inflação anual. Para o estudo em questão foi considerado o modelo de GD, considerando a venda de energia para consumidores intermediada por uma comercializadora. Abaixo é apresentado o quadro com os dados e suas fontes.

Quadro 4: Premissas, dados e fórmulas utilizadas para os cálculos financeiros.

Premissa	Símbolo	Dado/Fórmula	Fonte
Potência Instalada (kWh)	P_i	1000	Autor
Fator Preço (R\$/W _p)	F_p	3,82	PDE 2029
Terreno	-	Próprio	-
Concessionária	-	RGE	-
Tarifa Concessionária (R\$/kWh)	T_c	0,91	CPFL Energia
Perda ICMS+PIS/COFINS (R\$/kWh)	D_{imp}	0,25	Autor
Tarifa Injeção (R\$/kW)	T_i	$T_c - D_{imp}$	-
Desconto Consumidor Final (%)	D_c	20%	Empresa comercializadora
Tarifa Comercializadora (R\$/kWh)	T_{com}	$T_i * (1 - D_c)$	Empresa comercializadora
Reajuste Tarifário (% a.a)	-	6%	ANEEL
TUSD G (R\$/kWh)	-	11,39	CPFL Energia/RGE
Impostos (%)	-	16,40	-
Inflação 2023 (% a.a)	-	4,90	Relatório Focus (BCB 2023)
Inflação demais anos (% a.a)	-	3,50	Relatório Focus (BCB 2023)

Fonte: Autor.

O fator preço foi retirado do relatório de Parâmetros de Custos – Geração e Transmissão do Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 da EPE, publicado em 2021. Segundo o relatório, o CAPEX referência para o PDE 2029 era de 3,82 reais por Watt de

potência instalada. Já para o PDE 2030 esse valor reduziu para R\$ 3,20, entretanto com o objetivo de apresentar uma visão conservadora, optou-se por manter o primeiro valor apresentado.

As tarifas apresentadas foram retiradas do site da CPFL Energia, responsável pela distribuidora RGE que atua no estado do Rio Grande do Sul. Para a tarifa de comercialização, obteve-se um orçamento de uma empresa comercializadora que atua na região de Santo Ângelo. No valor dessa última tarifa, já está incluso o desconto para o consumidor final e a receita da empresa que fará a intermediação, ambos representados pelo valor de desconto de 20% da tarifa de injeção. Por confidencialidade, não é apresentado o nome da empresa.

Os índices de inflação foram retirados do Relatório Focus de agosto de 2023 do Banco Central. Esse relatório é referência nacional para consideração de diversos índices da economia brasileira.

6.4.2. Fluxo de Caixa

O fluxo de caixa de uma Usina Solar Fotovoltaica (UFV) é uma representação detalhada das entradas e saídas de dinheiro ao longo do tempo relacionadas ao investimento, operação e receitas geradas pela usina. Ele registra todos os fluxos financeiros envolvidos desde o início do projeto até o final de sua vida útil. O objetivo principal do fluxo de caixa é avaliar a saúde financeira do projeto, analisar sua viabilidade econômica e tomar decisões informadas sobre investir, operar ou expandir a usina. O fluxo de caixa de uma UFV inclui várias categorias de entradas e saídas.

O fluxo de caixa é calculado para cada período (normalmente em anos) ao longo da vida útil da usina. A análise detalhada desses fluxos permite calcular métricas financeiras, como o Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e o período de payback. Isso auxilia na tomada de decisões estratégicas, na identificação de riscos e na avaliação da viabilidade econômica do projeto ao longo do tempo.

6.4.2.1. Receitas

Para análise da UFV em questão, a única entrada calculada foi a de Receita Operacional. Nesse caso, pegou-se a estimativa de geração, em kWh, e multiplicou-se pela tarifa da comercializadora, reajustado ano a ano pelo índice de reajuste tarifário de 6%. A estimativa de geração leva em consideração um decaimento anual, o qual refere-se à redução gradual da capacidade de geração da usina ao longo do tempo devido a desgaste e envelhecimento dos componentes. Esse decaimento é estimado em uma taxa anual percentual.

$$\text{Receita Operacional} = \text{Energia Gerada} \times \text{Decaimento} \times \text{Tarifa da Comercializadora}$$

6.4.2.2. Saídas

Entre as saídas consideradas no um fluxo de caixa estão:

- Custos Operacionais (OPEX): Despesas recorrentes para operar e manter a usina, incluindo manutenção, limpeza, seguros, monitoramento, reposição de equipamentos e tarifas de distribuição (TUSD).
- Despesas de Capital (CAPEX): Valor a ser investido em bens de capital para implementação do empreendimento.
- Impostos: Impostos aplicáveis sobre a receita gerada pelo projeto.

Os custos operacionais envolvem os gastos recorrentes para a operação e manutenção da usina. Esses custos incluem despesas com limpeza, manutenção preventiva, reparos, seguro, reposição do inversor no 15º ano, segurança monitorada e custos tarifários (TUSD). Os custos tarifários pelo uso da rede de distribuição referem-se às taxas que a usina deve pagar pela utilização da rede elétrica para conectar a energia gerada à rede de distribuição. Nesse caso, o custo tarifário foi retirado do site da Rio Grande Energia (RGE), a qual é a concessionária responsável pela distribuição da região de Santo Ângelo. Para considerar a inflação do período, os custos operacionais são ajustados multiplicando-os por um fator de correção inflacionária, que reflete a taxa de inflação prevista para o período em questão, visando manter os custos operacionais atualizados em termos reais ao longo do tempo.

Deve-se também ser considerado o impacto dos impostos sobre a receita gerada pela venda de eletricidade. Para esse caso, foram considerados as tributações para pessoa

jurídica. Os impostos aplicáveis são Impostos Sobre Serviços (ISS), Contribuição Social (PIS/COFINS), Contribuição Social Sobre o Lucro Líquido (CSLL) e Imposto de Renda (IR). Os impostos são deduzidos da receita bruta obtida com a venda da energia, ou seja, a receita líquida é calculada subtraindo os valores de impostos incidentes sobre a venda da energia produzida.

6.4.3. Valor Presente Líquido (VPL)

A metodologia do Valor Presente Líquido (VPL) é amplamente utilizada na avaliação de projetos de investimento, permitindo determinar a atratividade financeira do projeto ao trazer todos os fluxos de caixa futuros para o presente, descontados a uma taxa de desconto apropriada. O VPL é calculado da seguinte forma:

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

Onde:

VPL: Valor Presente Líquido;

n: vida útil do ativo;

i: taxa de desconto;

FC_t : fluxo de caixa do período t.

Se o VPL for positivo, isso indica que o projeto gera mais dinheiro do que foi investido ao longo do tempo, após considerar o valor do dinheiro no tempo. Isso é um sinal de que o projeto é financeiramente viável e pode ser uma oportunidade interessante de investimento. Caso o VPL for negativo, indica que os fluxos de caixa futuros não são suficientes para recuperar o investimento inicial e proporcionar um retorno adequado. Nesse caso, o projeto pode não ser considerado viável financeiramente.

6.4.4. Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma das ferramentas financeiras cruciais utilizadas na avaliação de viabilidade de projetos. Ela representa uma taxa de desconto na qual o VPL dos fluxos de caixa futuros de um projeto se torna zero. Em outras palavras, a TIR é a taxa de retorno que torna o investimento inicial igual às entradas de caixa esperadas ao longo do tempo.

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

Onde:

FC_t : fluxo de caixa do período t ;

$VPL = 0$;

t : período.

A TIR desempenha um papel fundamental nas decisões de investimento, auxiliando na identificação da taxa de retorno que um projeto pode gerar. Se a TIR do projeto for maior do que o custo do capital investido, o projeto é considerado viável e pode ser uma opção atraente. Em situações em que há a necessidade de escolher entre diferentes projetos, a TIR oferece uma métrica comparativa que permite selecionar aquele com a taxa de retorno mais alta.

A TIR mostra a rentabilidade de um projeto ao considerar o período de recuperação do investimento. Uma taxa mais alta indica que o projeto pode gerar um retorno significativo em relação ao custo inicial. No entanto, a TIR não considera a escala absoluta dos fluxos de caixa, o que pode levar a interpretações equivocadas em projetos com valores negativos ou pequenos de fluxo de caixa. Portanto, é importante usá-la em conjunto com outras métricas financeiras, como o VPL, para tomar decisões de investimento mais informadas e precisas.

6.4.5. Payback Period

O tempo de retorno do investimento, também conhecido como *Payback*, é utilizado para calcular o tempo necessário para que os fluxos de caixa acumulados de um projeto de investimento igualem ou superem o investimento inicial. O *Payback* pode ser calculado da seguinte maneira:

$$\textit{Payback Period} = \frac{\textit{Investimento}}{\textit{Fluxo de Caixa Anual}}$$

Onde:

Investimento: é o valor total do investimento inicial no projeto;

Fluxo de Caixa Anual: representa o fluxo de caixa anual ao longo do tempo.

O resultado do cálculo do *Payback Period* é um período expresso em anos ou outro intervalo apropriado, representando quanto tempo levará para que o investimento inicial seja recuperado por meio dos fluxos de caixa gerados pelo projeto. É importante notar que é uma métrica de análise financeira que considera a rapidez da recuperação do investimento, mas não considera o valor do dinheiro ao longo do tempo, descontos futuros ou a rentabilidade total do projeto.

6.4.6. Índice de Lucratividade (IL)

A análise de viabilidade de projetos ainda incorpora a abordagem que envolve o cálculo do índice de lucratividade (IL), conforme indicado por FRANÇOZO and GUERATO (2023). O índice de lucratividade é uma medida comparativa entre o valor presente dos fluxos de caixa recebidos e o investimento inicial, sempre considerando o valor do investimento em termos positivos.

$$IL = \frac{(VPL + I)}{I}$$

Onde:

VPL: Valor Presente Líquido;

I: investimento inicial.

O resultado do cálculo do índice de lucratividade indica quanto valor presente de fluxos de caixa positivos é gerado para cada unidade monetária investida inicialmente. Um IL maior que 1 indica que o projeto é potencialmente viável, pois os benefícios superam os custos. Quanto maior o IL, mais atrativo é o investimento.

É importante destacar que o índice de lucratividade não indica o valor absoluto dos retornos esperados, apenas fornece uma relação entre os fluxos de caixa e o

investimento inicial. Portanto, ele deve ser utilizado em conjunto com outras métricas financeiras para uma avaliação completa da viabilidade do projeto.

6.5. AVALIAÇÃO DE IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

Em qualquer proposta de construção ou desenvolvimento, é prática habitual, tanto do ponto de vista da engenharia e da economia, para preparar uma análise da necessidade do desenvolvimento e da relação entre os seus custos monetários e os benefícios monetários. Mais recentemente, a sociedade reconheceu que além a estas análises económicas habituais e discussões de necessidade, deve haver uma avaliação detalhada do efeito de um desenvolvimento proposto no ambiente e, portanto, no seu impacto ecológico.

Segundo a resolução CONAMA nº 001/1986, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e económicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais. Essas alterações podem ser determinadas, mensuradas e classificadas como positivas ou negativas dependendo da sua consequência. Analisá-los é de suma importância para a avaliação da viabilidade de um empreendimento, pois fornecem uma base sólida para a tomada de decisões informadas e responsáveis. A compreensão abrangente dos possíveis impactos que um projeto pode causar no meio ambiente e na comunidade circundante é essencial para avaliar os riscos associados, bem como para implementar medidas mitigadoras e adaptativas que minimizem os danos nos meios bióticos, físicos e antrópico.

A avaliação dos impactos ambientais e sociais permite uma análise holística das consequências do empreendimento, indo além dos benefícios económicos imediatos. Isso é crucial para a sustentabilidade a longo prazo do projeto, garantindo que seus efeitos não causem danos irreparáveis aos ecossistemas, à biodiversidade e às comunidades locais. Além disso, a consideração cuidadosa dos impactos sociais é fundamental para garantir que os benefícios e as desvantagens do projeto sejam distribuídos de maneira justa, evitando desigualdades e impactos negativos sobre grupos vulneráveis.

As classificações dos impactos ambientais e sociais permitem uma hierarquização e priorização das ações a serem tomadas para mitigar ou compensar os efeitos negativos. Isso ajuda a otimizar os recursos disponíveis, concentrando esforços nas áreas onde os impactos são mais significativos ou irreversíveis. Além disso, proporciona transparência na comunicação com stakeholders, como autoridades regulatórias, comunidades locais e investidores, fortalecendo a confiança e a aceitação do empreendimento.

Além disso, empreendimentos que consideram de maneira abrangente e transparente os impactos que causam e implementam medidas de mitigação adequadas têm mais probabilidade de serem bem-sucedidos a longo prazo, evitando passivos ambientais e sociais que possam comprometer sua reputação e rentabilidade. Portanto, essa avaliação minuciosa é uma etapa crucial para garantir que os projetos contribuam de maneira sustentável para o desenvolvimento econômico e social, ao mesmo tempo em que minimizam os impactos negativos.

6.5.1. Matriz de Leopold

Para avaliação dos impactos ambientais da implementação da UFV, foi utilizado método das matrizes, também conhecido como matriz de Leopold. O método das matrizes é uma abordagem amplamente utilizada na avaliação de impactos ambientais, desenvolvido inicialmente por Leopold e seus colegas em 1971 como parte de um estudo de impacto ambiental para o Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos. Desde então, essa metodologia tem sido aplicada em diversas avaliações de impacto ambiental em todo o mundo.

A matriz de Leopold é uma ferramenta que visa sistematizar o processo de avaliação de impactos ambientais, permitindo uma análise mais organizada e estruturada dos possíveis impactos gerados por um empreendimento ou atividade. O método baseia-se na construção de uma matriz de dupla entrada, na qual as atividades ou componentes do empreendimento são listados em uma coluna e os possíveis impactos são listados em outra coluna. Cada célula da matriz contém uma avaliação qualitativa da magnitude do impacto resultante da interação entre a atividade e o impacto.

Esta circular sugere uma abordagem para cumprir esse requisito específico, fornecendo um sistema de análise e ponderação numérica de impactos prováveis. Este

tipo de análise não produz uma classificação quantitativa geral mas retrata muitos julgamentos de valor. Também podem servir como um guia na preparação da declaração de impactos ambientais onde o objetivo principal é garantir que o impacto de ações alternativas é avaliada e considerada no planejamento do projeto (Leopold et al. 1971).

O método das matrizes facilita a identificação e classificação dos impactos ambientais, permitindo uma avaliação mais sistemática e transparente. Além disso, ele possibilita a comparação entre diferentes atividades ou alternativas, auxiliando na tomada de decisões informadas sobre a viabilidade ambiental de um empreendimento. No entanto, é importante ressaltar que a subjetividade na avaliação das magnitudes dos impactos pode ser um desafio, tornando essencial a definição clara e objetiva dos critérios de avaliação.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados os desdobramentos essenciais obtidos a partir da aplicação das metodologias de avaliação financeira e de impactos ambientais e sociais na implementação de uma UFV. Por meio da análise rigorosa dos dados coletados e das informações geradas, este capítulo proporciona uma compreensão abrangente dos possíveis cenários e resultados decorrentes da concepção e operação do empreendimento. Ademais, abordaremos os principais aspectos relacionados à recuperação da área degradada, aos resultados financeiros alcançados e aos impactos ambientais identificados, permitindo uma análise sólida e fundamentada da viabilidade e sustentabilidade da UFV proposta.

7.1.POTENCIAL GERADOR

A potência instalada da usina foi arbitrada e os cálculos apresentados na metodologia foram utilizados para se chegar no potencial real gerador da UFV, visando constatação do retorno financeiro posterior.

No contexto da arbitragem de uma usina de 1 MW, a análise revelou que a legislação vigente e a disponibilidade de espaço desempenham um papel crítico na tomada de decisões. A capacidade instalada escolhida foi de 1 MW, devido se encaixar

ainda na Resolução Normativa Aneel N° 482/2012 como minigeração, fator que pode influenciar a viabilidade econômica do projeto. Ademais, o espaço disponível para a instalação da usina também desempenha um papel fundamental, uma vez que a localização e o layout devem ser cuidadosamente considerados para otimizar a geração de energia.

Em relação à seleção de módulos, a potência dos módulos deve estar alinhada com a capacidade da usina e os requisitos de geração de energia. Para esse estudo foi escolhido o módulo: HiKu - HIGH POWER MONO PERC MODULE - CS3W 450MS da Canadian Solar. A potência nominal máxima do módulo é de 450 W, portanto são necessários 2.222 módulos para a potência instalada desejada da UFV, ocupando uma área aproximada de 4.899 m² ou 0,49 ha. No Quadro 5 são apresentados os dados do módulo operando à temperatura ambiente (25°C).

Quadro 5: Especificações técnicas do módulo fotovoltaico CS3W 450MS da Canadian Solar.

CS3W 450MS	
Nominal Max. Power (Pmax)	450 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	41.1 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.96 A
Open Circuit Voltage (Voc)	49.1 V
Short Circuit Current (Isc)	11.60 A
Module Efficiency	20.4%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)
Max. Series Fuse Rating	20 A
Application Classification	Class A
Power Tolerance	0 ~ + 10 W

Fonte: Adaptado do fabricante, Canadian Solar.

A partir da quantidade de módulos, foi calculada, utilizando a metodologia apresentada no tópico 1.10.3, a estimativa de geração anual. Estima-se que o SFV tenha capacidade de gerar cerca de 1.800 MWh em um ano, sem descontar as perdas.

Quadro 6: Estimativa de geração de energia elétrica mensal.

Meses	Nº Dias	Irradiação Solar Média [kWh/m2.dia]	Geração Mensal [kWh]
Jan	31	5,98	185361,462
Fev	28	5,86	164063,592
Mar	31	5,48	169863,012
Abr	30	4,67	140085,99
Mai	31	3,9	120887,91
Jun	30	3,31	99290,07
Jul	31	3,66	113448,654
Ago	31	4,3	133286,67
Set	30	4,33	129887,01
Out	31	5,16	159944,004
Nov	30	5,9	176982,3
Dez	31	6,69	207369,261
TOTAL	365	59,24	1800469,935

Fonte: Autor.

Como apresentado na metodologia, para representar números mais realísticos adota-se uma perda durante os 25 anos informada pelo fabricante. A geração total estimada de energia durante o período total é de 40.390,43 MWh, conforme indicado na tabela abaixo.

Quadro 7: Estimativa de geração de energia elétrica anual.

Ano Operação	Ano	Decaimento	Decaimento acumulado	Geração Média Anual [kWh]
	2023		100%	
1	2024	2,5%	97,5%	1755458,19
2	2025	0,7%	96,8%	1743169,98
3	2026	0,7%	96,1%	1730967,79
4	2027	0,7%	95,4%	1718851,01
5	2028	0,7%	94,7%	1706819,06
6	2029	0,7%	94,0%	1694871,32
7	2030	0,7%	93,3%	1683007,23
8	2031	0,7%	92,6%	1671226,17
9	2032	0,7%	91,9%	1659527,59
10	2033	0,7%	91,2%	1647910,90
11	2034	0,7%	90,5%	1636375,52
12	2035	0,7%	89,8%	1624920,89
13	2036	0,7%	89,1%	1613546,45
14	2037	0,7%	88,4%	1602251,62
15	2038	0,7%	87,7%	1591035,86
16	2039	0,7%	87,0%	1579898,61
17	2040	0,7%	86,3%	1568839,32
18	2041	0,7%	85,6%	1557857,44
19	2042	0,7%	84,9%	1546952,44
20	2043	0,7%	84,2%	1536123,77
21	2044	0,7%	83,5%	1525370,91
22	2045	0,7%	82,8%	1514693,31
23	2046	0,7%	82,1%	1504090,46
24	2047	0,7%	81,4%	1493561,83
25	2048	0,7%	80,7%	1483106,89

Fonte: Autor.

7.2. PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA (PRAD)

7.2.1. Diagnóstico Ambiental

A avaliação apresentada foi realizada através de pesquisa bibliográfica e consulta ao Plano de Controle Ambiental (PCA) próprio do empreendimento. Isso permitiu uma estimativa dos impactos ambientais e suas respectivas magnitudes que serão causados pelo empreendimento, bem como a proposição de medidas para mitigação e

compensação. Para identificar os impactos ambientais decorrentes, principalmente, da fase operacional e desativação do empreendimento, foram listados vários fatores e atividades que podem resultar em degradação do ambiente. Os efeitos desses fatores foram avaliados e correlacionados com as alterações causadas.

A escolha do local para a exploração de saibro foi baseada em diversos critérios, incluindo:

- A distribuição favorável do depósito mineral, o que facilita sua extração;
- A presença de uma fina camada de material estéril sobre o minério de interesse;
- A acessibilidade adequada ao local;
- A obtenção da autorização do proprietário para a execução da atividade de mineração.

7.2.1.1. Identificação das APPs

Conforme estabelecido pela Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012, Capítulo II, Seção I, Artigo 4º, Inciso I, letra "a", é obrigatório que as áreas marginais de cursos d'água naturais, independentemente de serem permanentes ou intermitentes, excluindo aqueles de natureza efêmera, possuam faixas de proteção. Essas faixas devem ter uma largura mínima de 30 metros para cursos d'água com largura inferior a 10 metros e 50 metros para cursos d'água com largura de 10 a 50 metros. Conforme a diretriz dessa lei, é imperativo manter uma distância mínima de 50 metros em relação ao curso d'água, no caso específico, o Arroio São João, que é classificado como permanente e está localizado dentro dos limites da área do empreendimento. Essa restrição é especialmente relevante na região sudeste do terreno, próxima à delimitação da Agência Nacional de Mineração (ANM), a fim de evitar qualquer forma de intervenção potencial que possa afetar negativamente o curso d'água em questão.

7.2.1.2. Definição das Áreas de Influência

A área de influência direta compreende a totalidade da extensão da área licenciada, que será sujeita a um processo abrangente de recuperação ambiental após a

extração mineral. Nesse contexto, a área em questão será alvo de ações de reabilitação visando sua restauração e preservação.

Já a área de influência indireta diz respeito às áreas circunvizinhas onde ocorrerá o tráfego frequente de veículos pesados e maquinários. Essa atividade pode resultar em emissões de ruídos, vibrações e partículas de poeira. No entanto, é importante ressaltar que os efeitos desses impactos são reversíveis e imediatos, uma vez que cessada a atividade, os níveis de ruído, vibração e poeira também diminuirão prontamente.

No que concerne aos impactos ambientais, vale observar que a presença de vegetação na área de influência direta não é particularmente robusta, tendo em vista seu histórico anterior como local de atividades de silvicultura. Ademais, a fauna local tende a se realocar para as zonas circundantes à área, minimizando potenciais efeitos sobre a biodiversidade.

7.2.1.1. Impactos Ambientais

7.2.1.1.1. Meio Físico

Alteração das condições do meio terrestre

O solo é o item de maior importância com potencial a ser poluído, pois haverá interferência através da escavação para extração do minério. As alterações do perfil topográfico são as feições mais importantes provocadas ao aspecto visual, principalmente em extrações a céu aberto, alterando consideravelmente a morfologia do terreno e provocando a instabilidade de taludes. A erosão é a consequência da descaracterização da área pela remoção da cobertura vegetal e decapagem do solo natural para exploração do minério. Seus efeitos mais negativos são os processos erosivos e arraste de material particulado fino.

Este impacto sobre o meio terrestre é negativo, diretamente ocasionado pela movimentação de solos, de grande magnitude, significativa importância, e de duração permanente.

Quanto às alterações da topografia, após a conclusão das atividades de exploração, deverá ser realizado o afeiçoamento topográfico através da distribuição de solo residual,

a suavização dos taludes, instalação de sistema de drenagem para então a área poder receber a revegetação que irão minimizar a formação de processos erosivos. As orientações para controle desses processos são apresentadas no item 7.2.2.

Alteração das condições da hidrologia

As águas precipitadas deixam de percolar/infiltrar para o subsolo, devido a compactação do solo, ocasionada pelos equipamentos e máquinas pesadas, utilizados no processo de extração do minério.

O impacto é negativo, devido a compactação do solo, de grande magnitude, significativa importância, podendo ser reversível.

Após concluídas as atividades, poderá ser utilizado um subsolador para a descompactação do solo nos acessos. Orienta-se a construção de um sistema de drenagem, através de canaletas escavadas no solo e de bacias de decantação para o direcionamento e contenção das águas superficiais. O sistema de drenagem deverá ser monitorado e desobstruído sempre que necessário. Como medida preventiva, orienta-se que seja construída uma leira paralela ao sistema de drenagem, direcionada para as bacias de decantação, com objetivo de contenção do arraste de materiais particulados finos e processos erosivos.

Alteração na qualidade do ar pela movimentação de máquinas e equipamentos

Durante a fase de operação do empreendimento, o efeito na qualidade do ar está praticamente limitado à poeira suspensa, que provêm principalmente das escavações e do movimento de máquinas e caminhões no local. O componente predominante, é o material particulado fino, essencialmente pó de rocha e solo residual, que são inertes e, portanto, não trarão problemas de intoxicação à população que eventualmente receba essa carga de pó, havendo apenas a possibilidade de problemas de menor gravidade a pessoas alérgicas. Além disso, o diâmetro médio dessas partículas é predominantemente grande, o que reduz bastante a sua agressividade à saúde. A poeira suspensa tem um alcance limitado, tendendo a se depositar rapidamente no solo, dependendo das condições climáticas. Considerando a distância entre o local do empreendimento e as residências mais

próximas, bem como as dimensões do mesmo, é pequena a possibilidade de que a poeira gerada pela atividade venha a atingir a população vizinha.

Este impacto é negativo, diretamente ocasionado pela atividade de extração. No entanto, é temporário e imediato, pois localiza-se no entorno da atividade de lavra e cessa tão logo quando a mesma é suspensa/paralisada. Portanto, pode-se considerar de importância não significativa.

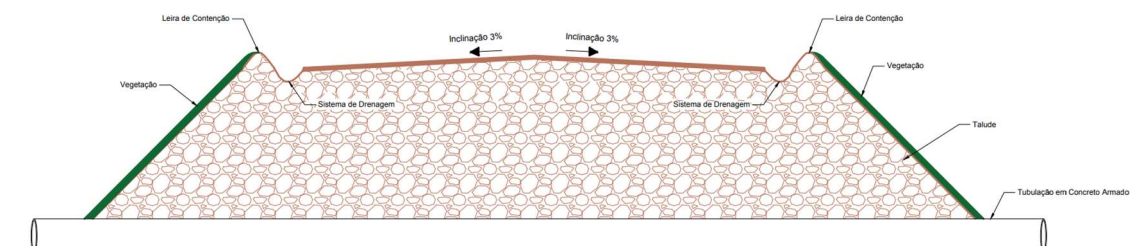
Para minimizar o efeito do movimento de partículas finas, particularmente nas operações de escavação e transporte de material por estradas não pavimentadas, recomenda-se manter o solo e as vias de acesso umedecidas.

7.2.2. Configuração final da Remediação da Área

A configuração final do processo de extração estabelece a aplicação uniforme de uma camada de solo orgânico, com uma espessura de 0,50 metros, em toda a extensão da área em questão, conforme indicado no PCA. Importante salientar que o autor recomenda aplicar, antes do solo orgânico, uma camada de pó de brita do próprio empreendimento, visando auxiliar na drenagem do terreno e evitar futuros processos erosivos. Essa etapa é seguida pela implementação de leiras de proteção ao redor dos limites da poligonal de extração. Essa estratégia assume um papel crucial, tanto na reabilitação ambiental quanto na salvaguarda dos contornos da área de extração, representando um aspecto essencial deste estudo.

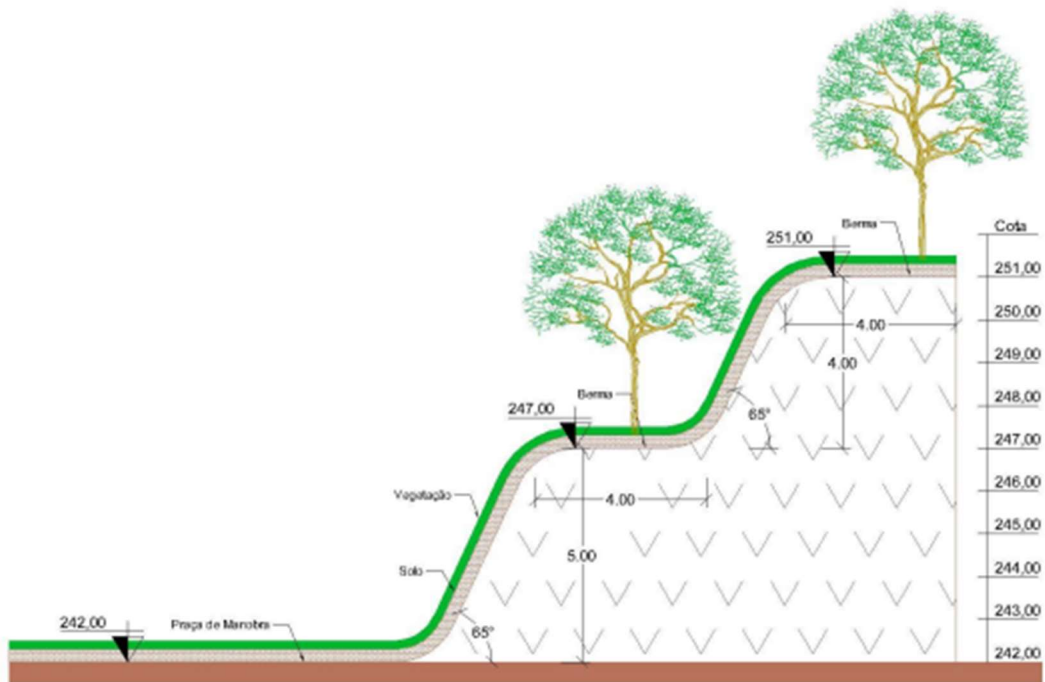
Todos os taludes devem respeitar uma altura máxima de 10 metros, 65° de inclinação e uma berma de 5 metros, conforme apresentado no PCA. Essa limitação visa garantir a estabilidade e segurança dos taludes.

Figura 15: Ilustração da configuração final dos taludes.



Fonte: PCA atualizado, 2020.

Figura 16: Configuração final dos taludes a serem recuperados.



Fonte: PCA atualizado, 2020.

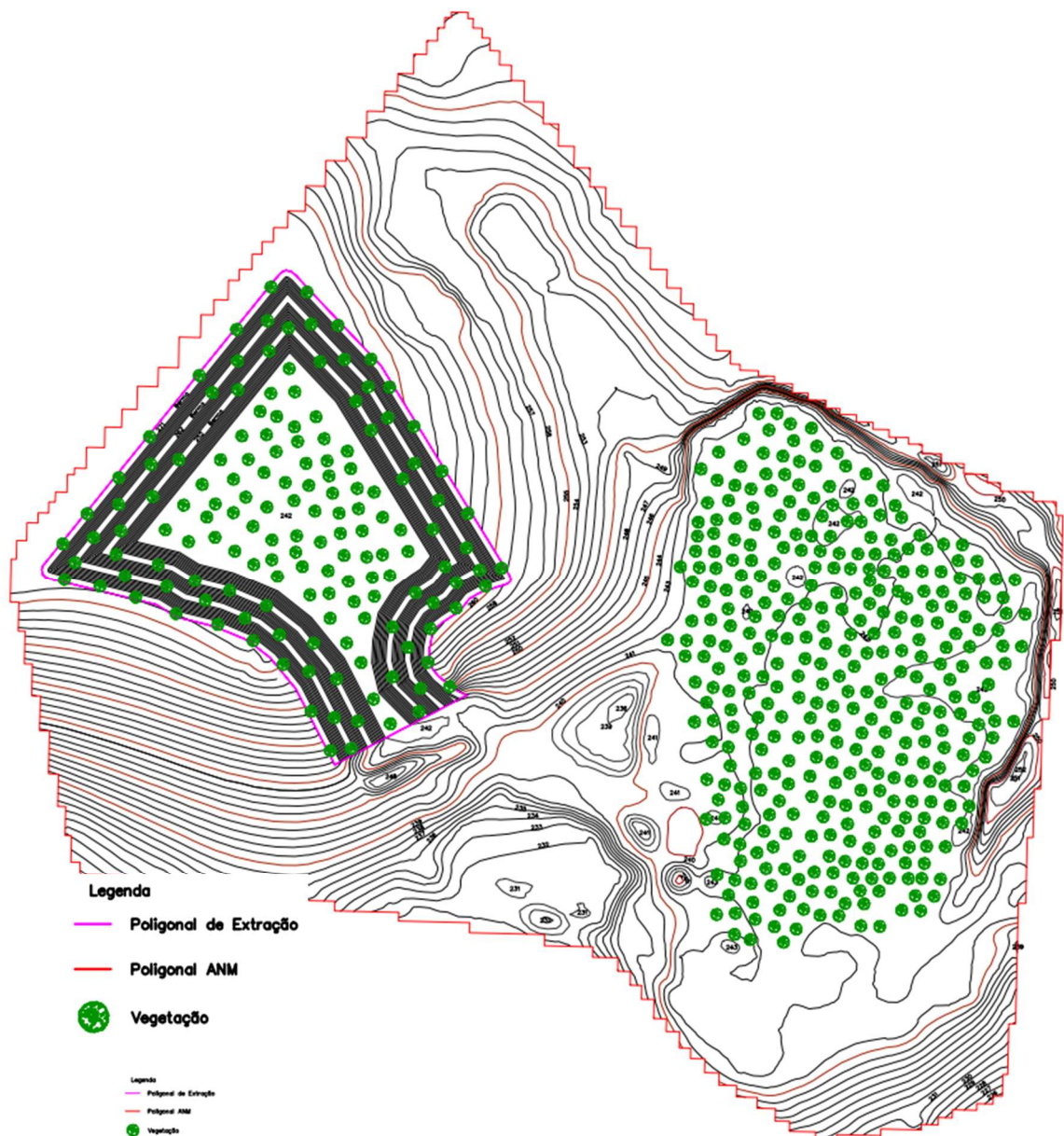
O solo armazenado deve ser cuidadosamente distribuído por toda a extensão da área licenciada, com o objetivo de alcançar um nivelamento topográfico adequado, simultaneamente implementar medidas mitigadoras de reabilitação ambiental e garantir um terreno estável e com pouca declividade para implementação da UFV. Essa última recomendação é do autor a fim de propiciar uma área adequada para implementação da UFV.

Ao manejar o solo, é necessário um cuidado com a compactação, usando preferencialmente máquinas mais leves. O objetivo deve ser não compactar demasiadamente o solo a ponto que o impermeabilize, pois isso pode trazer problemas futuros com a erosão, uma vez que a redução da percolação da água aumenta a velocidade e volume de escoamento. Para assegurar a estabilidade das encostas e a suavização das cristas, sugere-se adicionar uma camada de solo ao longo dos taludes em uma proporção aproximada de 3:1 m.

No caso de necessidade de solo orgânico para a recomposição da área, esse material deve ser obtido de uma área previamente licenciada, assegurando a legalidade e conformidade ambiental do processo. Esse procedimento garante que o solo utilizado na

recuperação seja de origem adequada e esteja de acordo com as diretrizes regulamentares. É necessário ainda, prever o empolamento do solo, também conhecido como expansão volumétrica e usualmente considerado em 30%, para a área de onde será retirado o solo orgânico. Esse empolamento aumenta o volume a ser transportado, um dos principais custos relacionados à terraplanagem.

Figura 17: Configuração final da área após recuperação.



Fonte: PCA atualizado, 2020.

No processo de recuperação da área é importante prever, antes da revegetação com espécies arbóreas nativas, o controle dos processos erosivos. Pelo tamanho de área de

extração e operação, com solo exposto, é muito provável o desenvolvimento de processos erosivos que podem ser de difícil e custosa remediação futuramente. Por conta disso, como uma das primeiras atividades após a terraplanagem, sugere-se ser implementada uma camada de gramíneas em toda extensão de solo exposto com o objetivo de evitar a erosão do solo, sendo uma medida efetiva e de baixo custo. Após a cobertura vegetal com gramíneas, deve-se iniciar o plantio das mudas arbóreas.

Dentro da remediação está previsto o plantio em grande parte da área de extração, sendo inteiramente coberta a porção oeste e nordeste do empreendimento, como apresentado na Figura 17. Importante que seja considerada a futura área de implementação da UFV, prevista na porção centro-sudeste do empreendimento. Deve-se considerar, na hora do plantio, uma distância que evite o sombreamento das placas solares futuramente quando a vegetação estiver mais alta.

7.2.2.1. Medidas Mitigadoras e Compensatórias

A atividade de extração mineral resulta em modificações substanciais na topografia original, provocando alterações nas condições de escoamento das águas superficiais e afetando outras características do ambiente. Essas mudanças tornam o local sujeito a intensos processos naturais, os quais gradualmente reconfiguram ou adaptam a nova condição. Por isso, áreas de jazidas já encerradas demandam intervenções específicas para preservar suas estruturas por um período variável, dependendo das dimensões e das características construtivas da região. Com o tempo, essas áreas podem estabilizar e se reintegrar à topografia e ao ambiente pré-existent.

Nesse contexto, ocorre uma alteração significativa e desequilíbrio no cenário paisagístico natural. A remodelação do relevo original, através do uso de cobertura de solo e uma diversidade de vegetação, é essencial para promover a recuperação espontânea da área e criar uma estética agradável para a apreciação humana. A seguir, serão apresentadas medidas sugeridas para minimizar os impactos decorrentes desse processo.

- A lavra deverá ser realizada com planejamento e sob orientação de responsável técnico habilitado, ocorrendo concomitante à recuperação da área.

- O solo orgânico removido e depositado deverá ser reposicionado nas áreas onde ocorrerão extração do minério, buscando o nivelamento topográfico da área. Para facilitar a percolação da água deve-se tomar cuidado para não compactar excessivamente o solo. Além disso, orienta-se colocar uma camada de pó de brita antes do nivelamento com solo orgânico.
- A extração do minério deverá ser efetuada em sistema de taludes inclinados, visando a suavização e estabilização destes bem como o controle dos processos erosivos.
- A drenagem de toda a área de extração deverá ser disciplinada. Deverá ser implantado um sistema de drenagem pluvial em local topograficamente favorável, através da construção de canaletas escavadas no solo, cercadas por leiras de contenção, buscando o direcionamento das águas pluviais e material particulado fino para as bacias de decantação. Periodicamente deverão ser limpas e desobstruídas canaletas e as bacias de decantação.
- Orienta-se que seja feita a demarcação dos limites da poligonal da ANM através de marcos físicos georreferenciados;
- Na entrada do empreendimento deverá ser instalada uma placa sinalizando a atividade licenciada, com dados do órgão competente fiscalizador;
- Após o término das atividades minerárias, os taludes remanescentes deverão ser escalonados, buscando reduzir a altura dos mesmos e assim como os riscos de quedas ou desmoronamentos.
- Deve-se também considerar a revegetação com espécies nativas de grande parte do empreendimento, inclusive em toda a margem do corpo hídricos que percorre o empreendimento.

7.2.3. Cronograma

Abaixo é apresentado o cronograma do processo de recuperação da área.

Quadro 8: Cronograma de recuperação da área degradada.

MEDIDAS	PERÍODO			
	1º Semestre	2º Semestre	3º Semestre	4º Semestre
Controle dos processos erosivos				
Implantação de bacias de decantação, sistema de drenagem, e leiras de contenção				
Reposição dos solos				
Cobertura vegetal de gramíneas				
Revegetação Arbórea				
Monitoramento e controle da estabilidade dos taludes				
Medidas complementares				
Monitoramento da área				

Fonte: Autor.

Considerando que a aplicação das medidas mitigadoras e compensatórias já tenham sido aplicadas concomitantemente à fase de exploração da jazida, boa parte da área se encontrará em processo de recuperação ambiental ao longo da vida útil da jazida. Após esgotamento da jazida, orienta-se que seja realizada a etapa final de recuperação ambiental, seguido do isolamento da área por curto período, que irá propiciar o equilíbrio natural do meio ambiente local, antes da implementação da UFV.

7.3.RESULTADOS FINANCEIROS

O resultado financeiro de um determinado empreendimento é um parâmetro muito importante na análise de viabilidade. Os números obtidos nos custos, receitas e fluxo de caixa são determinantes na tomada de decisão das partes interessadas, visto que sem retorno financeiro pode-se não ser viável sua implementação. A partir das metodologias

apresentadas, foram calculados, de maneira estimada, os investimentos necessários e o resultado operacional ano a ano, para assim aplicar os índices de análise financeira.

Considerando um fator preço de R\$ 3,82/W (PDE 2029, 2021), chegou-se a um CAPEX de R\$ 3.820.000,00 para implementação da UFV de 1 MWh instalado. Conforme apresentado por Shimura et al. (2016), os custos operacionais (OPEX) anuais são de aproximadamente 1,30% do CAPEX, resultando um valor de R\$ 49.660,00 por ano de operação corrigidos pela inflação do período. Dentro dos custos de operação estão considerados operação e manutenção do empreendimento, segurança monitorada, seguro e a TUSD. Importante salientar que no décimo quinto ano é necessário realizar a troca do inversor, custo considerado de operação, estimado em R\$ 382.000,00 corrigidos pela inflação de todo o período. Além disso, está previsto uma despesa de 16,4% da receita bruta advinda dos impostos incidentes a pessoas jurídicas.

Para a receita, considerando a tarifa de R\$ 0,53/kWh, corrigidos anualmente pelo reajuste tarifário, obteve-se uma receita bruta total de R\$ 48.594.527,24. Os custos advindos de impostos e tributação e custos operacionais, corrigidos pela inflação, somam um total de R\$ 7.969.502,47 e R\$ 9.175.750,09, respectivamente. A receita bruta total do empreendimento subtraída dos custos de impostos e operacionais, fornece um resultado operacional total de R\$ 31.449.274,68. Ao final do período de 25 anos o montante em caixa do empreendimento está previsto em R\$ 23.809.274,68, considerando uma depreciação acumulada de 100% no último ano.

Abaixo é apresentada a planilha com todos os resultados financeiros da implementação e operação do empreendimento em um horizonte de 25 anos, considerado a vida útil do sistema.

Quadro 9: Simulação financeira dos resultados do empreendimento - ano 0 ao 7.

Ano Operação	0	1	2	3	4	5	6	7
Ano	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Inflação	4,90%	3,90%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%
Geração Média Anual (kWh) (1)		1755458,19	1743169,98	1730967,79	1718851,01	1706819,06	1694871,32	1683007,23
Decaimento		2,5%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%
Decaimento acumulado	100%	97,5%	96,8%	96,1%	95,4%	94,7%	94,0%	93,3%
Tarifa Comercializadora (2)	R\$ 0,53	R\$ 0,56	R\$ 0,59	R\$ 0,63	R\$ 0,67	R\$ 0,71	R\$ 0,75	R\$ 0,79
Calculo Receita Bruta (1)*(2)		R\$ 982.494,84	R\$ 1.034.154,42	R\$ 1.088.530,26	R\$ 1.145.765,18	R\$ 1.206.009,51	R\$ 1.269.421,49	R\$ 1.336.167,67
Impostos		R\$ 161.129,15	R\$ 169.601,32	R\$ 178.518,96	R\$ 187.905,49	R\$ 197.785,56	R\$ 208.185,12	R\$ 219.131,50
Custos Operacionais		R\$ 171.564,75	R\$ 180.568,72	R\$ 190.067,78	R\$ 200.090,05	R\$ 210.665,30	R\$ 221.825,00	R\$ 233.602,49
Custos de Operação e Manutenção		R\$ 51.596,74	R\$ 53.402,63	R\$ 55.271,72	R\$ 57.206,23	R\$ 59.208,45	R\$ 61.280,74	R\$ 63.425,57
Custos Tarifários (TUSD G)		R\$ 119.968,01	R\$ 127.166,09	R\$ 134.796,06	R\$ 142.883,82	R\$ 151.456,85	R\$ 160.544,26	R\$ 170.176,92
Demonstrativo de Resultado								
Receita Bruta (+)		R\$ 982.494,84	R\$ 1.034.154,42	R\$ 1.088.530,26	R\$ 1.145.765,18	R\$ 1.206.009,51	R\$ 1.269.421,49	R\$ 1.336.167,67
Impostos (-)		-R\$ 161.129,15	-R\$ 169.601,32	-R\$ 178.518,96	-R\$ 187.905,49	-R\$ 197.785,56	-R\$ 208.185,12	-R\$ 219.131,50
Custos Operacionais (-)		-R\$ 171.564,75	-R\$ 180.568,72	-R\$ 190.067,78	-R\$ 200.090,05	-R\$ 210.665,30	-R\$ 221.825,00	-R\$ 233.602,49
Resultado Operacional (=)	-R\$ 3.820.000,00	R\$ 649.800,93	R\$ 683.984,37	R\$ 719.943,52	R\$ 757.769,64	R\$ 797.558,65	R\$ 839.411,36	R\$ 883.433,69
Depreciação (-)		-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00
CAPEX	-R\$ 3.820.000,00	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Fluxo de Caixa	-R\$ 3.820.000,00	-R\$ 3.322.999,07	-R\$ 2.791.814,69	-R\$ 2.224.671,18	-R\$ 1.619.701,54	-R\$ 974.942,89	-R\$ 288.331,53	R\$ 442.302,16

Fonte: Autor.

Quadro 10: Simulação financeira dos resultados do empreendimento - ano 8 ao 15.

Ano Operação	8	9	10	11	12	13	14	15
Ano	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Inflação	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%
Geração Média Anual (kWh) (1)	1671226,17	1659527,59	1647910,90	1636375,52	1624920,89	1613546,45	1602251,62	1591035,86
Decaimento	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%
Decaimento acumulado	92,6%	91,9%	91,2%	90,5%	89,8%	89,1%	88,4%	87,7%
Tarifa Comercializadora (2)	R\$ 0,84	R\$ 0,89	R\$ 0,95	R\$ 1,00	R\$ 1,06	R\$ 1,13	R\$ 1,19	R\$ 1,27
Calculo Receita Bruta (1)*(2)	R\$ 1.406.423,37	R\$ 1.480.373,11	R\$ 1.558.211,13	R\$ 1.640.141,87	R\$ 1.726.380,53	R\$ 1.817.153,61	R\$ 1.912.699,55	R\$ 2.013.269,29
Impostos	R\$ 230.653,43	R\$ 242.781,19	R\$ 255.546,62	R\$ 268.983,27	R\$ 283.126,41	R\$ 298.013,19	R\$ 313.682,73	R\$ 330.176,16
Custos Operacionais	R\$ 246.033,00	R\$ 259.153,84	R\$ 273.004,49	R\$ 287.626,74	R\$ 303.064,78	R\$ 319.365,43	R\$ 336.578,20	R\$ 938.833,51
Custos de Operação e Manutenção	R\$ 65.645,46	R\$ 67.943,05	R\$ 70.321,06	R\$ 72.782,30	R\$ 75.329,68	R\$ 77.966,22	R\$ 80.695,03	R\$ 667.597,36
Custos Tarifários (TUSD G)	R\$ 180.387,53	R\$ 191.210,79	R\$ 202.683,43	R\$ 214.844,44	R\$ 227.735,11	R\$ 241.399,21	R\$ 255.883,16	R\$ 271.236,15
Demonstrativo de Resultado								
Receita Bruta (+)	R\$ 1.406.423,37	R\$ 1.480.373,11	R\$ 1.558.211,13	R\$ 1.640.141,87	R\$ 1.726.380,53	R\$ 1.817.153,61	R\$ 1.912.699,55	R\$ 2.013.269,29
Impostos (-)	-R\$ 230.653,43	-R\$ 242.781,19	-R\$ 255.546,62	-R\$ 268.983,27	-R\$ 283.126,41	-R\$ 298.013,19	-R\$ 313.682,73	-R\$ 330.176,16
Custos Operacionais (-)	-R\$ 246.033,00	-R\$ 259.153,84	-R\$ 273.004,49	-R\$ 287.626,74	-R\$ 303.064,78	-R\$ 319.365,43	-R\$ 336.578,20	-R\$ 938.833,51
Resultado Operacional (=)	R\$ 929.736,94	R\$ 978.438,08	R\$ 1.029.660,01	R\$ 1.083.531,86	R\$ 1.140.189,34	R\$ 1.199.774,99	R\$ 1.262.438,63	R\$ 744.259,62
Depreciação (-)	-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00
CAPEX	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Fluxo de Caixa	R\$ 1.219.239,10	R\$ 2.044.877,18	R\$ 2.921.737,19	R\$ 3.852.469,05	R\$ 4.839.858,39	R\$ 5.886.833,38	R\$ 6.996.472,01	R\$ 7.587.931,63

Fonte: Autor.

Quadro 11: Simulação financeira dos resultados do empreendimento - ano 16 ao 20.

Ano Operação	16	17	18	19	20
Ano	2039	2040	2041	2042	2043
Inflação	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%
Geração Média Anual (kWh) (1)	1579898,61	1568839,32	1557857,44	1546952,44	1536123,77
Decaimento	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%
Decaimento acumulado	87,0%	86,3%	85,6%	84,9%	84,2%
Tarifa Comercializadora (2)	R\$ 1,34	R\$ 1,42	R\$ 1,51	R\$ 1,60	R\$ 1,69
Calculo Receita Bruta (1)*(2)	R\$ 2.119.126,99	R\$ 2.230.550,69	R\$ 2.347.833,05	R\$ 2.471.282,11	R\$ 2.601.222,12
Impostos	R\$ 347.536,83	R\$ 365.810,31	R\$ 385.044,62	R\$ 405.290,27	R\$ 426.600,43
Custos Operacionais	R\$ 373.952,86	R\$ 394.228,97	R\$ 415.646,01	R\$ 438.269,78	R\$ 462.169,96
Custos de Operação e Manutenção	R\$ 86.442,54	R\$ 89.468,03	R\$ 92.599,41	R\$ 95.840,39	R\$ 99.194,80
Custos Tarifarios (TUSD G)	R\$ 287.510,32	R\$ 304.760,94	R\$ 323.046,60	R\$ 342.429,40	R\$ 362.975,16
Demonstrativo de Resultado					
Receita Bruta (+)	R\$ 2.119.126,99	R\$ 2.230.550,69	R\$ 2.347.833,05	R\$ 2.471.282,11	R\$ 2.601.222,12
Impostos (-)	-R\$ 347.536,83	-R\$ 365.810,31	-R\$ 385.044,62	-R\$ 405.290,27	-R\$ 426.600,43
Custos Operacionais (-)	-R\$ 373.952,86	-R\$ 394.228,97	-R\$ 415.646,01	-R\$ 438.269,78	-R\$ 462.169,96
Resultado Operacional (=)	R\$ 1.397.637,31	R\$ 1.470.511,41	R\$ 1.547.142,42	R\$ 1.627.722,06	R\$ 1.712.451,73
Depreciação (-)	-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00
CAPEX	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Fluxo de Caixa	R\$ 8.832.768,93	R\$ 10.150.480,34	R\$ 11.544.822,76	R\$ 13.019.744,82	R\$ 14.579.396,55

Fonte: Autor.

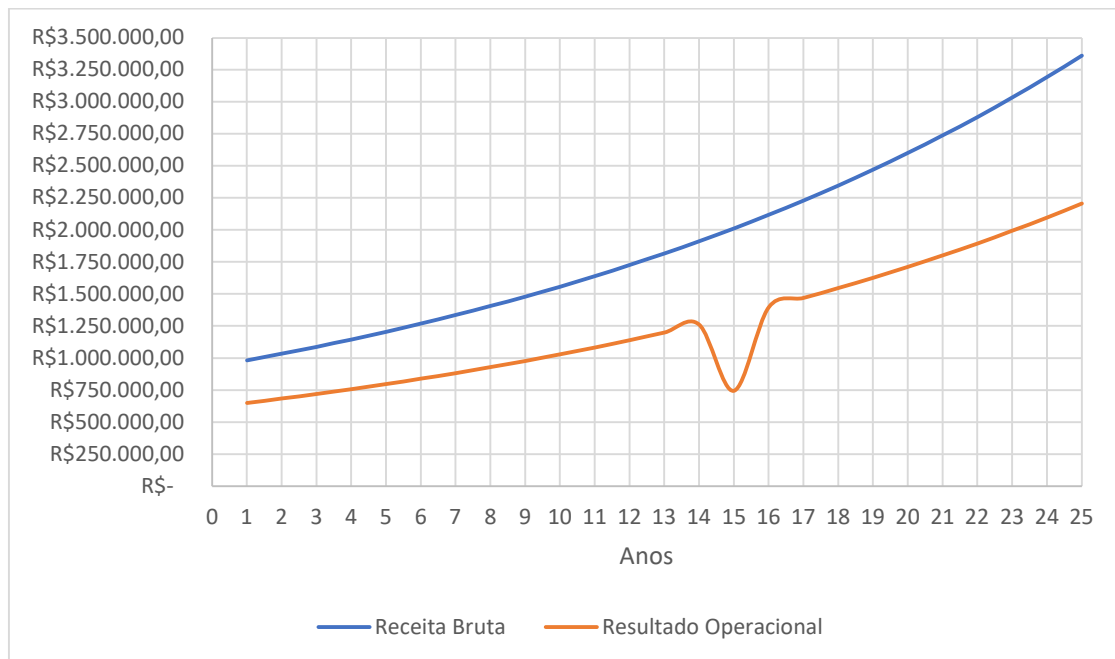
Quadro 12: Simulação financeira dos resultados do empreendimento - ano 21 ao 25.

Ano Operação	21	22	23	24	25
Ano	2044	2045	2046	2047	2048
Inflação	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%
Geração Média Anual (kWh) (1)	1525370,91	1514693,31	1504090,46	1493561,83	1483106,89
Decaimento	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%
Decaimento acumulado	83,5%	82,8%	82,1%	81,4%	80,7%
Tarifa Comercializadora (2)	R\$ 1,79	R\$ 1,90	R\$ 2,02	R\$ 2,14	R\$ 2,27
Calculo Receita Bruta (1)*(2)	R\$ 2.737.994,38	R\$ 2.881.958,12	R\$ 3.033.491,48	R\$ 3.192.992,47	R\$ 3.360.880,01
Impostos	R\$ 449.031,08	R\$ 472.641,13	R\$ 497.492,60	R\$ 523.650,76	R\$ 551.184,32
Custos Operacionais	R\$ 487.420,29	R\$ 514.098,84	R\$ 542.288,27	R\$ 572.076,09	R\$ 603.554,95
Custos de Operação e Manutenção	R\$ 102.666,62	R\$ 106.259,95	R\$ 109.979,05	R\$ 113.828,32	R\$ 117.812,31
Custos Tarifarios (TUSD G)	R\$ 384.753,67	R\$ 407.838,89	R\$ 432.309,22	R\$ 458.247,78	R\$ 485.742,64
Demonstrativo de Resultado					
Receita Bruta (+)	R\$ 2.737.994,38	R\$ 2.881.958,12	R\$ 3.033.491,48	R\$ 3.192.992,47	R\$ 3.360.880,01
Impostos (-)	-R\$ 449.031,08	-R\$ 472.641,13	-R\$ 497.492,60	-R\$ 523.650,76	-R\$ 551.184,32
Custos Operacionais (-)	-R\$ 487.420,29	-R\$ 514.098,84	-R\$ 542.288,27	-R\$ 572.076,09	-R\$ 603.554,95
Resultado Operacional (=)	R\$ 1.801.543,02	R\$ 1.895.218,15	R\$ 1.993.710,61	R\$ 2.097.265,61	R\$ 2.206.140,74
Depreciação (-)	-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00	-R\$ 152.800,00
CAPEX	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Fluxo de Caixa	R\$ 16.228.139,57	R\$ 17.970.557,72	R\$ 19.811.468,33	R\$ 21.755.933,94	R\$ 23.809.274,68

Fonte: Autor.

A partir da análise da planilha, bem como mostrado na Figura 18, é possível observar um resultado operacional positivo em todos os anos, o que significa que, após o investimento inicial de implementação do empreendimento, o investidor não necessitará aportar mais dinheiro no empreendimento.

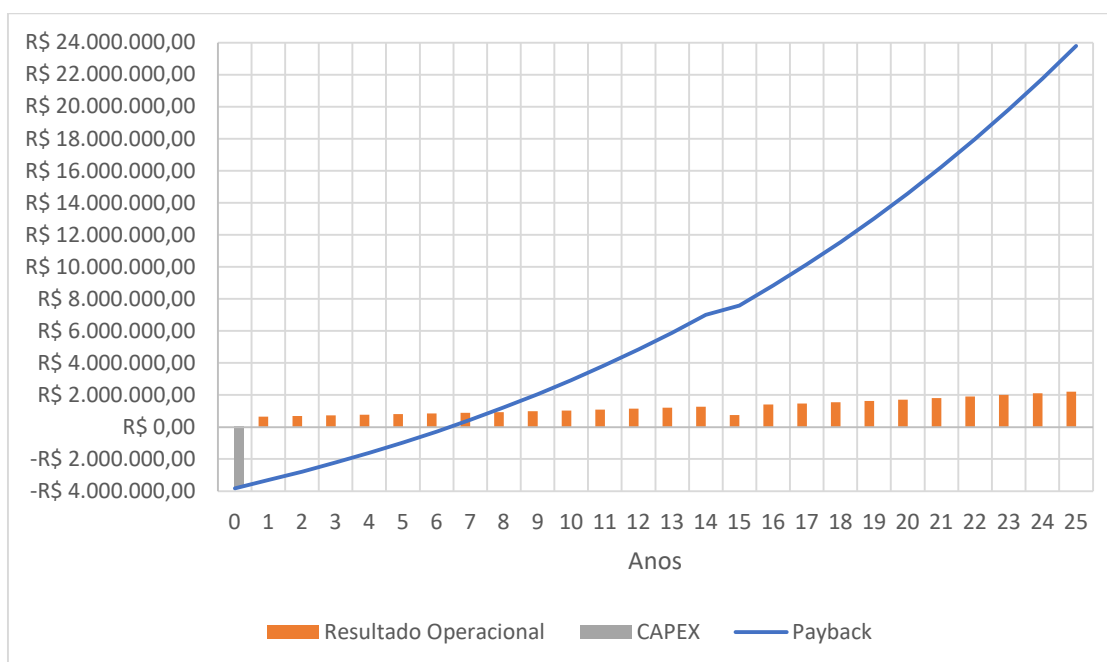
Figura 18: Gráfico da Receita Bruta e Resultado Operacional vs Tempo.



Fonte: Autor.

O único custo que poderia colocar em risco o fluxo de caixa do empreendimento, seria a troca de inversores no 15º ano. Neste ano, entretanto, a receita bruta é muito superior que o custo de operação, estimados em R\$ 2.013.269,29 e R\$ 938.833,51, respectivamente, configurando ainda sim um resultado operacional positivo.

Figura 19: Gráfico do Fluxo de Caixa e Payback vs Tempo.



Fonte: Autor.

O *Breakeven Point*, ponto onde o *payback* do investimento se torna positivo, está estimado em 6,67 anos e a Taxa Interna de Retorno em 16,9%, conforme apresentado no Quadro 12.

Quadro 13: Resultado dos indicadores financeiros utilizados.

Indicadores	Valor
Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	12%
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 3.658.467,93
Taxa Interna de Retorno (TIR)	16,9%
Retorno do Investimento (Payback)	6,67
Índice de Lucratividade (IL)	2,96

Fonte: Autor.

Considerando os parâmetros estabelecidos para a análise de viabilidade econômica, torna-se evidente que o investimento em questão demonstra fortes indícios de viabilidade. A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 12% é amplamente superada por uma série de indicadores favoráveis. O Valor Presente Líquido (VPL) positivo de R\$ 3.658.467,90 indica que os retornos futuros do investimento excedem o custo do capital.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) de 16,9% também destaca a atratividade do projeto, indicando uma taxa de retorno superior à TMA. O período de *Payback* de 6,67 anos, apesar de longo em primeira sensação, se é cerca de 26% em relação ao período total de 25 anos. Além disso, esse indicador é acompanhado por uma série de indicadores

financeiros positivos, sugerindo que os fluxos de caixa futuros compensarão o investimento inicial. O índice de lucratividade (IL) de 2,96 destaca que os retornos esperados são quase três vezes o investimento inicial. Em conjunto, esses indicadores apontam para a rentabilidade e a capacidade do investimento em gerar retornos favoráveis ao longo do tempo.

Portanto, com base na análise abrangente dos indicadores financeiros, é possível concluir que o investimento é considerado viável financeiramente. No entanto, é fundamental considerar que a viabilidade de longo prazo dependerá da precisão das projeções, bem como de fatores externos que possam impactar a dinâmica financeira do projeto. A tomada de decisão informada deve considerar não apenas os indicadores financeiros, mas também os riscos associados e a estratégia geral de negócios.

7.4.IMPACTOS AMBIENTAIS

A implementação de usinas fotovoltaicas representa uma mudança positiva no panorama energético, oferecendo uma fonte renovável e limpa de eletricidade, derivada da abundante energia solar. Isso resulta em benefícios notáveis para a oferta de energia elétrica, reduzindo a dependência de fontes de energia fósseis e minimizando as emissões de gases de efeito estufa. Além disso, a geração distribuída de energia solar pode reduzir as perdas de transmissão e distribuição, melhorando a eficiência do sistema elétrico. A instalação de usinas fotovoltaicas também cria oportunidades de emprego e investimento local, impulsionando a economia.

No entanto, é crucial adotar uma abordagem equilibrada, considerando tanto os aspectos positivos quanto os potenciais impactos ambientais e sociais negativos associados a esses empreendimentos. Durante a implantação e operação, é preciso atentar para aspectos como a gestão dos resíduos resultantes da construção, bem como para a implementação de medidas de controle de ruído e erosão do solo. O uso responsável dos recursos hídricos, também deve ser priorizado. Além disso, o engajamento da comunidade local e a garantia de benefícios sociais são importantes para a aceitação e sustentabilidade do empreendimento.

Abaixo são apresentados os principais impactos advindos das ações realizadas em determinada fase do empreendimento.

Tabela 2: Ações de determinada fase do empreendimento e seus impactos ambientais.

Fases do Empreendimento	Ações	Impactos	
Planejamento	Divulgação do empreendimento	Atração de pessoas	
Implantação	Sinalização da obra	Prevenção de Acidentes	
	Contratação de mão de obra	Fomento à economia	
	Locação de máquinas e equipamentos	Fomento à economia	
	Manejo de solo		Desencadeamento de processos erosivos
			Alteração da paisagem
			Alterações no escoamento superficial
			Alteração da qualidade do ar
			Impactos sobre fauna
	Operação de máquinas		Contaminação do solo
			Ruído
Alteração da qualidade do ar			
Execução de obras civis		Aumento de tráfego nas ruas de acesso	
		Ruídos	
		Afugentamento da fauna no entorno	
		Alteração da paisagem	
Operação	Ocupação de área por painéis fotovoltaicos	Riscos de acidentes	
		Alteração da paisagem	
	Limpeza dos painéis	Fomento à economia	
		Aumento na demanda de água	
	Geração de energia	Aumento na oferta de energia	
		Redução de emissões atmosféricas	

Fonte: Autor.

Para avaliação dos impactos ambientais aplicou-se a metodologia apresentada anteriormente. A Matriz de Leopold emerge como uma ferramenta valiosa para compreender os possíveis efeitos que a atividade pode ter sobre o meio ambiente.

No âmbito do meio biótico, as análises identificaram impactos negativos decorrentes da implantação da usina fotovoltaica. Aspectos como perturbação de habitats e possível interferência nas populações locais de fauna são identificados. No entanto, é importante mencionar que esses impactos podem ser de pouca significância, uma vez que a área já passou por atividades de mineração por pedreira, o que sugere que o meio biótico já tenha sofrido alterações significativas.

No meio físico, nossos estudos apontam para uma presença mais acentuada de impactos negativos em relação aos positivos. Questões como modificações na topografia,

qualidade do ar e solo e potenciais alterações na hidrologia local foram identificadas. É essencial adotar medidas de controle e mitigação para que os impactos tenham menor magnitude possível. As reduções nas emissões atmosféricas são referentes ao possível não uso de energia proveniente de fontes não renováveis.



No meio antrópico, nossos resultados destacam tanto impactos positivos quanto negativos, com leve resultado positiva. A possibilidade de geração de empregos, investimentos locais e arrecadação com tributos são aspectos favoráveis, enquanto a ocorrência de ruído e alteração da paisagem podem ser impactos negativos. É crucial implementar estratégias para minimizar os efeitos adversos sobre os habitantes da região.

Tabela 3: Matriz de Leopold para implementação da UFV.

Fases do Empreendimento	Ações	Impactos Ambientais Significativos											
		Meio Biótico		Meio Físico						Meio Antrópico			
		Impactos sobre fauna local	Impacto sobre fauna entorno	Desencadeamento de processos erosivos	Alterações no escoamento superficial	Qualidade do Ar	Qualidade do Solo	Recursos Hídricos	Uso e Ocupação do Solo	Paisagem	Economia Local	Ruídos	Riscos Humanos
Planejamento	Divulgação do empreendimento										+		
Implantação	Sinalização da obra												+
	Contratação de mão de obra										+		
	Locação de máquinas e equipamentos										+		
	Manejo de solo	-		-	+	-				-			-
	Operação de máquinas		-			-	-			-		-	
Operação	Execução de obras civis		-							-	+	-	
	Ocupação de área por painéis fotovoltaicos			-	-		-		-	-	+		
	Limpeza dos painéis				-			-					
	Geração de Energia					+					+		

Fonte: Autor.

Legenda

- Positivo +
- Negativo -
- Muito Significante 
- Pouco Significante 

Importante ressaltar que a recuperação da área degradada, que representará uma parte substancial do terreno, desencadeará um processo de restauração ambiental significativa. Enquanto isso, a implementação da usina fotovoltaica em si ocupará uma porção menor do espaço e ainda trará benefícios em relação a disposição e ocupação anterior da área, visto que o plano prevê terraplanagem, criação de sistema de drenagem e plantação de espécies de gramíneas. Nesse sentido, é necessário considerar não apenas os impactos atuais, mas também o cenário prévio da área e o potencial de melhoria ambiental.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo empreendeu uma análise sobre a viabilidade e os impactos associados à implementação de uma Usina Fotovoltaica (UFV) na região de Santo Ângelo, RS. Por meio da investigação de três macro tópicos fundamentais: Recuperação da Área Degradada, Resultados Financeiros e Impactos Ambientais, foram obtidas informações que direcionam as considerações para a concretização de um projeto viável, sustentável e eficaz.

Os resultados apresentados no tocante à recuperação da área degradada ressaltam a importância de uma abordagem ampla para a restauração ambiental. A análise aponta que a área previamente utilizada para mineração por pedreira apresenta impactos negativos observados que podem não ser atenuados em relação ao estado anterior, entretanto é importante remediar à área à medida do possível garantindo sustentabilidade ambiental. O engajamento na recuperação de uma porção significativa do terreno, combinado com a implementação da UFV em uma área menor, ilustra a busca por um equilíbrio entre a revitalização ambiental, a geração de energia limpa e retorno financeiro ao proprietário.

Os resultados financeiros avaliados contribuíram para a avaliação da viabilidade econômica da usina fotovoltaica. A TMA de 12% é amplamente superada por indicadores positivos, como o VPL positivo de R\$ 3.658.467,90, indicando que os retornos futuros excedem o custo do capital. A TIR de 16,9% demonstra atratividade e um retorno bem superior aos melhores investimentos de baixo risco e longo prazo que hoje estão disponíveis no mercado que rondam o percentual da taxa de atratividade apresentada. O

Payback do empreendimento de 6,67 anos é compensado pelo retorno ao longo dos 25 anos, enquanto o IL de 2,96 destaca que os retornos esperados superam significativamente o investimento inicial, evidenciando um retorno projetado de R\$ 2,96 a cada R\$ 1,00 investidos. A análise minuciosa dos indicadores aponta para uma avaliação positiva, evidenciando que o projeto possui um retorno atrativo em relação ao investimento realizado. Alguns estudos demonstram que a vida útil dos sistemas de geração solar pode chegar a 30 anos, com as novas tecnologias disponíveis para o mercado, nesse estudo, entretanto, adotou-se uma visão conservadora com o objetivo de compensar as incertezas inerentes às projeções de longo prazo.

A análise dos impactos ambientais demonstrou que a implementação da UFV implica em um balanço entre impactos positivos e negativos. A utilização da Matriz de Leopold permitiu uma avaliação, identificando áreas como meio biótico, físico e antrópico que seriam afetadas. A consideração do histórico da área atenua os impactos negativos da implementação da UFV, visto que muitos dos impactos decorrentes da implementação já existiam devido a atividade mineradora. Mesmo assim, é importante delimitar medidas compensatórias e mitigadoras para os impactos apresentados.

Neste contexto, a implementação da UFV emerge como uma solução viável e alternativa para a geração de energia limpa em áreas degradadas, visto a carência de usos finais para áreas que sofreram algum tipo de degradação por atividades passadas. A análise financeira ratifica o potencial atrativo do investimento, conferindo sustentabilidade ao projeto. Entretanto, para avaliação final do empreendimento e tomada de decisão das partes interessadas, é importante salientar os riscos associados à legislação, licenças ambientais e incertezas das premissas utilizadas nesse projeto.

Como recomendações a projetos futuros, indica-se o aprofundamento justamente nos riscos apresentados. É possível entrar no detalhe do cálculo das perdas na geração, critérios de escolha de áreas propícias à geração bem como projeções de tarifas e índices econômicos. Também, indica-se aprimorar o PRAD apresentado, visto que o projeto atual abordou com a superficialidade o tema. Todas as áreas abordadas podem ser aprofundadas e trazer resultados mais concretos que auxiliem ao resultado do presente estudo.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida E, Rosa AC, Braz M, et al (2015) ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 13

Bacci D de LC, Landim PMB, Eston SM de (2006) Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. Rem: Rev Esc Minas 59:47–54. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672006000100007>

BCB B (2023) Focus - Relatório de Mercado

Bühler AJ, Gabe IJ, Santos FHD (2019) UMA REVISÃO SOBRE AS TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS ATUAIS. In: Energia solar e eólica, 1st edn. Antonella Carvalho de Oliveira, pp 10–25

Bursztyn M (2020) Energia solar e desenvolvimento sustentável no Semiárido: o desafio da integração de políticas públicas¹. Estud av 34:167–186. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.3498.011>

CEPEL, DTE, CRESESB (2014) Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, Revisada e Atualizada. Rio de Janeiro

Davin A do CS (2019) Recuperação de áreas degradadas por lavra em pedreiras.

FRANÇOZO M, GUERATO G (2023) VIABILIDADE FINANCEIRA NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS: IMPACTO DO ESTUDO INEFICIENTE E BOAS PRÁTICAS. 9

Freire L (2014) Energias renováveis complementares: benefícios e desafios

Gehlen J (2009) Aplicando a Sustentabilidade e a Produção Limpa aos Canteiros de Obras. São Paulo

IEA (2023) Clean Energy Transitions Programme 2022. <https://www.iea.org/reports/clean-energy-transitions-programme-2022>. Accessed 3 Jul 2023

Imhoff J (2007) DESENVOLVIMENTO DE CONVERSORES ESTÁTICOS PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS. 146

Leopold L, Clarke F, Hanshaw B, Balsley J (1971) A Procedure for Evaluating Environmental Impact

Lopes JRA (2017) Impactos ambientais da pedreira no município de Caraúbas-RN

Mantovani PRA, Neumann PN, Edler MAR (2017) MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: EM BUSCA DE UMA NOVA ALTERNATIVA

MME B (2022) Resenha Energética 2022 (1).pdf. Ministério Minas e Energia, Brasília

Naime R (2006) Projeto e recuperação de áreas degradadas por pedreiras. Revista Tecnologia e Tendências 5:72–80

Neto ABF, Corrêa WLR, Perobelli FS (2016) CONSUMO DE ENERGIA E CRESCIMENTO ECONÔMICO: UMA ANÁLISE DO BRASIL NO PERÍODO 1970-2009. Análise Econômica 34:24. <https://doi.org/10.22456/2176-5456.44622>

SECUNDES UU (2015) PROCEDIMENTOS E NORMATIVAS PARA INSTALAÇÃO DE CENTRAIS FOTOVOLTAICAS CONECTADAS À REDE ELÉTRICA EM MÉDIA TENSÃO. 140

Shimura S, Simplício R, Herrero R, et al (2016) ESTIMATIVA DO CUSTO DE GERAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS USANDO CONFIABILIDADE. Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS 1–8

TONOLO ÉA (2019) ESTIMAÇÃO DA TAXA DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE EM DIFERENTES MESORREGIÕES DO ESTADO DO PARANÁ | Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS. 140