



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

VITOR LUIZ GALLI

**ENERGIA SUSTENTÁVEL:
O CENÁRIO DAS USINAS FOTOVOLTAICAS COMO INVESTIMENTO
CONSCIENTE**

**ERECHIM
2024**

VITOR LUIZ GALLI

ENERGIA SUSTENTÁVEL:
O CENÁRIO DAS USINAS FOTOVOLTAICAS COMO INVESTIMENTO
CONSCIENTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS),
como requisito para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dra. Débora Regina Schneider Locatelli

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Esposito

ERECHIM

2024

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Galli, Vitor Luiz
ENERGIA SUSTENTÁVEL: O CENÁRIO DAS USINAS
FOTOVOLTAICAS COMO INVESTIMENTO CONSCIENTE / Vitor Luiz
Galli. -- 2024.
39 f.

Orientadora: Drª Debora Regina Schneider Locatelli
Co-orientador: Dr Marcelo Esposito
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária,
Erechim,RS, 2024.

1. Sustentabilidade. 2. Meio Ambiente. 3.
Investimento consciente. I. Locatelli, Debora Regina
Schneider, orient. II. Esposito, Marcelo, co-orient.
III. Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

VITOR LUIZ GALLI

ENERGIA SUSTENTÁVEL:
O CENÁRIO DAS USINAS FOTOVOLTAICAS COMO INVESTIMENTO
CONSCIENTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS),
como requisito para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 21/05/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Debora Regina Schneider Locatelli – UFFS
Orientadora

Prof. Dr. Marcelo Esposito – UFFS
Coorientador

Prof.^a Dr.^a Helen Treichel – UFFS
Avaliador

Prof. Dr. Marcelo Correa Ribeiro – UFFS
Avaliador

Dedico este trabalho aos meus pais, que
não pouparam esforços para que eu
pudesse concluir meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha vida e por todas as oportunidades concebidas.

A minha família, em especiais meus pais, Elisângela Tapparo, Gladstone José Galli e minha irmã Livia Maria Galli, por todo incentivo e apoio prestados, sendo essenciais para conclusão dessa importante etapa em minha vida.

A minha orientadora, Dr^a. Debora Regina Schneider Locatelli, por toda paciência, conselhos e dedicação do seu tempo em me dar todo o apoio necessário para finalização desse trabalho.

Ao meu coorientador, Dr. Marcelo Esposito, por seus conselhos e pela dedicação e orientação imprescindíveis para a conclusão desse trabalho.

Ao meu colega Matheus Prestes Kunz, por toda a contribuição e parceria de estudo durante todo o tempo da minha graduação.

Aos meus amigos e colegas do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, pela amizade, companheirismo e pelos momentos de estudo.

A todos os professores que nessa caminhada tive o privilégio de ter aulas, por seus ensinamentos e conselhos que foram fundamentais para meu aperfeiçoamento profissional.

*“Nunca ande por trilhas, pois assim só irá
até onde outros já foram”.*

Alexander Graham Bell.

RESUMO

Este estudo aborda o tema da energia sustentável, com foco no cenário das usinas fotovoltaicas como investimento consciente. O objetivo geral é analisar e apresentar os benefícios ambientais e econômicos das usinas fotovoltaicas, utilizando dados específicos de uma usina em operação, visando compreender seu impacto na mitigação das mudanças climáticas e seu potencial como investimento sustentável. Os objetivos específicos incluem a apresentação e conceituação da energia sustentável e o desenvolvimento urbano, a discussão dos impactos das usinas hidroelétricas no meio ambiente, a análise dos aspectos ambientais e econômicos da energia fotovoltaica, e a abordagem das vantagens ambientais das usinas fotovoltaicas em relação às hidroelétricas, com embasamento na literatura. A metodologia adotada segue a análise comparativa de dados reais da PCH Forquilha IV e de dados calculados de uma usina solar fotovoltaica idealizada. Os resultados revelaram a viabilidade econômica e ambiental das usinas fotovoltaicas em comparação com as hidroelétricas, destacando a eficiência e os benefícios associados à energia solar. Por fim, a conclusão ressalta a importância da transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável, enfatizando as oportunidades e os desafios envolvidos na adoção de tecnologias renováveis para o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Meio ambiente; Investimento consciente.

ABSTRACT

This study addresses the topic of sustainable energy, focusing on the scenario of photovoltaic plants as a conscious investment. The general objective is to analyze and present the environmental and economic benefits of photovoltaic plants, using specific data from a plant in operation, aiming to understand its impact on mitigating climate change and its potential as a sustainable investment. The specific objectives include the presentation and conceptualization of sustainable energy and urban development, the discussion of the impacts of hydroelectric plants on the environment, the analysis of the environmental and economic aspects of photovoltaic energy, and the approach to the environmental advantages of photovoltaic plants in relation to hydroelectric plants, based on literature. The methodology adopted follows the comparative analysis of real data from PCH Forquilha IV and calculated data from an idealized photovoltaic solar plant. The results revealed the economic and environmental viability of photovoltaic plants compared to hydroelectric plants, highlighting the efficiency and benefits associated with solar energy. Finally, the conclusion highlights the importance of the transition to a cleaner and more sustainable energy matrix, emphasizing the opportunities and challenges involved in the adoption of renewable technologies for sustainable development.

Keywords: Sustainability; Environment; Conscious investment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Preço painéis solares fotovoltaicos.....	21
Figura 2 - Emissões dos gases (ton) do efeito estufa e dos poluentes do ar para geração de energia termelétrica e para geração de energia solar fotovoltaica em 25 anos.....	23
Figura 3 - Construção da PCH Forquilha IV.....	27
Figura 4 - PCH Forquilha IV finalizada.....	28
Figura 5 - Local com a mesma área que a calculada no quadro 2 para implantação do projeto.....	29
Figura 6 - Produtividade Fotovoltaica Anual no Plano Inclinado a 20°	30

LISTA DE TABELAS

Quadro 1 - PCH Forquilha IV.....	28
Quadro 2 - Dados de uma usina fotovoltaica.....	30
Quadro 3 - Produção de soja na região.....	32
Quadro 4 - Lucro bruto total com a área excedente.....	33
Quadro 5 - Potência e custos por área de cada empreendimento.....	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA.....	13
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	13
1.3 OBJETIVOS.....	14
1.3.1 Objetivo geral.....	14
1.3.2 Objetivos específicos.....	14
1.4 JUSTIFICATIVA.....	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 ENERGIA SUSTENTÁVEL E DESENVOLVIMENTO URBANO.....	16
2.2 IMPACTO DAS USINAS HIDROELÉTRICAS NO MEIO AMBIENTE.....	17
2.3 ASPECTOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS DA ENERGIA FOTOVOLTAICA. .	20
2.4 VANTAGENS AMBIENTAIS DE USINAS FOTOVOLTAICAS EM RELAÇÃO AS USINAS HIDROELÉTRICAS.....	23
3 METODOLOGIA.....	26
4 RESULTADOS.....	27
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

A crescente preocupação com a sustentabilidade e a busca por fontes de energia renovável têm impulsionado o interesse em tecnologias como a energia solar fotovoltaica. Nos últimos anos, observou-se um aumento significativo na adoção da energia solar em diversas partes do mundo, impulsionado tanto por incentivos governamentais quanto pela conscientização ambiental crescente. Nesse contexto, a energia sustentável surge como um tema de relevância crescente, especialmente nas áreas urbanas e suburbanas, nas quais a disponibilidade de espaço e os custos associados à habitação desempenham um papel crucial. O advento das usinas fotovoltaicas como uma forma de investimento consciente introduz novas dinâmicas, oferecendo não apenas benefícios ambientais, mas também oportunidades econômicas para proprietários e investidores.

A crescente demanda por energia limpa e a crescente conscientização sobre os impactos ambientais da geração de energia convencional têm levado governos e empresas a buscar alternativas mais sustentáveis. As usinas fotovoltaicas surgem como uma solução atraente, pois aproveitam uma fonte de energia inesgotável e amplamente disponível: a luz solar. Ao converter a luz solar em eletricidade por meio de células fotovoltaicas, essas usinas oferecem uma maneira eficiente e eco-friendly de suprir as necessidades energéticas de comunidades, empresas e residências.

A integração de usinas fotovoltaicas em áreas urbanas e suburbanas apresenta uma série de benefícios, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. Em primeiro lugar, a geração descentralizada de energia reduz a dependência de fontes de energia tradicionais e contribui para a expansão do sistema elétrico, especialmente em face de eventos climáticos extremos e interrupções na rede. Ao reduzir a demanda por energia proveniente de fontes não renováveis, as usinas fotovoltaicas ajudam a mitigar as emissões de gases de efeito estufa e a combater as mudanças climáticas.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Qual o potencial das usinas fotovoltaicas como investimento sustentável, considerando os benefícios ambientais e econômicos?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Apresentar o potencial das usinas fotovoltaicas como investimento sustentável, considerando os benefícios ambientais e econômicos na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos buscam:

- Conceituar o que é a energia sustentável e o desenvolvimento urbano;
- Apresentar os impactos das usinas hidroelétricas no meio ambiente;
- Mostrar os aspectos e impactos ambientais e econômicos da energia fotovoltaica e das usinas fotovoltaicas;
- Abordar à luz da literatura as vantagens ambientais de usinas fotovoltaicas em relação as usinas hidroelétricas.

1.4 JUSTIFICATIVA

A temática da energia sustentável e seu potencial transformador aqui abordada é justificada pela sua relevância diante das mudanças climáticas globais, da busca por fontes renováveis e da transição para uma economia de baixo carbono. Nesse contexto, o uso da energia solar fotovoltaica desponta como uma das principais alternativas para a geração de energia limpa e renovável.

A justificativa para a escolha desse tema reside na análise dos aspectos econômicos e financeiros das usinas fotovoltaicas, destacando sua viabilidade como investimento consciente e rentável. A crescente demanda por fontes de energia limpa e a capacidade das usinas fotovoltaicas de contribuir para a independência energética também são fatores determinantes que reforçam a relevância desta pesquisa.

A escolha de abordar a energia solar neste estudo também se deve ao significativo aumento do uso dessa fonte de energia renovável nos últimos anos. Entre janeiro e setembro de 2023, houve um incremento de 3 GW na capacidade de geração solar centralizada da história no Brasil. Em todo o ano de 2022, por exemplo, o acréscimo foi de 2,5 Gigawatts (BRASIL, 2023). O mercado de energia solar no Brasil em 2024 tem projeções positivas. A previsão é de que 9,4 GW sejam adicionados à rede, em um cenário de crescimento contínuo. Dessa forma, a expectativa da associação é que até o final do ano a matriz solar conte com 45,5 GW em operação, crescendo em participação (ABSOLAR, 2024).

Por meio dessa análise, pretende-se oferecer pontos relevantes para a tomada de decisão de investidores, gestores públicos e demais atores envolvidos no processo de transição para uma economia mais sustentável. Portanto, a escolha do tema é justificada pela sua relevância para a promoção do desenvolvimento sustentável e pela importância de incentivar práticas de investimento responsável e ambientalmente consciente.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ENERGIA SUSTENTÁVEL E DESENVOLVIMENTO URBANO

Energia renovável é aquela que vem de recursos ou fontes de energia que são naturalmente reabastecidos, como sol, vento, chuva, marés e energia geotérmica. As fontes de energia renovável são as que conseguem se renovar, ou seja, não se esgotam, pois estão em constante regeneração. Toda forma de energia é fruto de transformação de um estado para outro e sua origem é sempre a natureza. A diferença entre as designadas renováveis e não renováveis é o tempo e o processo pelo qual são industrializadas para o uso humano. É importante notar que nem todo recurso natural é renovável, por exemplo, o urânio, carvão e petróleo são retirados da natureza, porém existem em quantidade limitada (SEMIL, 2021).

A interseção entre energia sustentável e o desenvolvimento urbano é um tema de crescente relevância em um mundo no qual a urbanização é uma tendência dominante. O crescimento urbano está intrinsecamente ligado à demanda por infraestrutura e serviços, incluindo a energia. No entanto, esse crescimento também traz consigo desafios ambientais, como o aumento das emissões de gases de efeito estufa e a pressão sobre os recursos naturais. Diante desse cenário, a energia sustentável surge como uma solução viável para conciliar o desenvolvimento urbano com a preservação ambiental (Oliveira et al., 2021).

As cidades têm um papel crucial na transição para fontes de energia limpa e renovável, como a energia solar. As usinas fotovoltaicas representam uma forma eficaz de integrar a energia solar na matriz energética das áreas urbanas. Ao aproveitar a energia do sol, essas usinas podem produzir eletricidade limpa e renovável para abastecer as crescentes necessidades das cidades. A energia solar também reduz a dependência de combustíveis fósseis, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (Silva et al., 2021).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem ser centralizados, constituindo usinas de geração de energia elétrica, ou micro e minissistemas descentralizados de geração distribuída instalados em qualquer tipo de consumidor. Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica podem ser classificados em três categorias, de acordo com seu tamanho, segundo as definições utilizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Sistema de microgeração são os

considerados com potência instalada até 100 kW, minigeração com potência entre 100 kW e 1 MW e usinas de eletricidade com potência acima de 1 MW (Oliveira, 2013).

A implantação de usinas fotovoltaicas em áreas urbanas não apenas fornece energia limpa, mas também pode ter impactos positivos no desenvolvimento urbano. Elas podem ser integradas em edifícios, parques industriais e outras infraestruturas urbanas, tornando-se parte integrante da paisagem. Isso não apenas diversifica a matriz energética da cidade, mas também contribui para a resiliência urbana, fornecendo uma fonte de energia estável em caso de interrupções (Oliveira et al., 2021).

A presença de usinas solares em áreas urbanas pode impulsionar o desenvolvimento de tecnologias e soluções inovadoras para a geração e armazenamento de energia. Isso cria oportunidades de emprego e estimula o crescimento econômico local. A energia sustentável pode melhorar a qualidade de vida nas cidades, reduzindo a poluição do ar e protegendo os recursos naturais. (Costa et al., 2018).

A energia solar pode alimentar sistemas de transporte público e iluminação pública, reduzindo os custos operacionais e as emissões de carbono (Silva et al., 2021).

A implementação bem-sucedida de usinas fotovoltaicas em áreas urbanas requer uma abordagem integrada e colaborativa entre governos, empresas e comunidades. É importante envolver todas as partes interessadas desde as fases iniciais do planejamento até a implementação dos projetos. (Bichueti et al., 2019).

A educação e conscientização pública também desempenham um papel fundamental na adoção de energia solar e no apoio da comunidade aos projetos sustentáveis. Os benefícios da energia solar no desenvolvimento urbano são inúmeros e abrangem aspectos ambientais, econômicos, sociais e de qualidade de vida. Também é crucial adaptar as estratégias de energia solar urbana às características e necessidades individuais de cada comunidade (Oliveira et al., 2021).

2.2 IMPACTO DAS USINAS HIDROELÉTRICAS NO MEIO AMBIENTE

A construção e operação de usinas hidroelétricas têm um impacto significativo no meio ambiente, afetando ecossistemas aquáticos, terrestres e atmosféricos. O principal impacto ambiental das usinas hidroelétricas está relacionado à alteração dos cursos d'água e à formação de reservatórios. O represamento de rios para a criação de reservatórios causa a inundação de áreas terrestres, levando à perda de habitats naturais e à fragmentação de ecossistemas (Santiago, Oliveira Filho, 2019).

A inundação de áreas para a formação de reservatórios resulta na perda de biodiversidade, afetando espécies vegetais e animais que habitam essas regiões. Muitas vezes, áreas de importância ecológica são submersas, levando à extinção local de espécies e à perda de habitats essenciais para a reprodução e sobrevivência da fauna e flora (Carvalho et al., 2018).

O represamento de rios pode interromper o fluxo natural de sedimentos, nutrientes e organismos aquáticos ao longo do curso d'água. Isso pode afetar negativamente a qualidade da água, a fertilidade do solo e os ciclos biogeoquímicos nos ecossistemas aquáticos e terrestres adjacentes. A alteração do regime de fluxo de água também pode afetar a migração de peixes e outros organismos aquáticos, impactando as populações e a diversidade biológica (Terrin, Blanchet, 2019).

A construção de barragens e a formação de reservatórios também podem gerar emissões de gases de efeito estufa, como metano, devido à decomposição de matéria orgânica submersa. O metano é um potente gás de efeito estufa, contribuindo para o aquecimento global e as mudanças climáticas. Portanto, as usinas hidroelétricas podem ter um impacto paradoxal, fornecendo uma fonte de energia renovável, mas também contribuindo para as emissões de gases de efeito estufa (Santiago, Oliveira Filho, 2019).

As usinas hidroelétricas também podem ter efeitos secundários em cascata, afetando os ecossistemas e comunidades humanas ao longo do curso d'água. Por exemplo, a redução do fluxo de água rio abaixo pode afetar a agricultura, a pesca, o abastecimento de água potável e outros usos humanos da água. Isso pode levar a conflitos sobre o uso dos recursos hídricos e a perturbações socioeconômicas em comunidades ribeirinhas (Custódio et al., 2022).

Além dos impactos durante a fase de construção, as usinas hidroelétricas podem ter impactos contínuos durante sua operação. A liberação de água das barragens pode alterar a temperatura, o fluxo e a qualidade da água rio abaixo, afetando a biodiversidade e os ecossistemas aquáticos. A liberação de sedimentos

retidos nos reservatórios também pode causar assoreamento e erosão nos rios, prejudicando a fauna, a flora e as atividades humanas (Das Neves Barros, Brabo, Ferreira, 2020).

As usinas hidroelétricas também podem ter impactos socioeconômicos significativos nas comunidades locais. A construção de barragens pode resultar no deslocamento forçado de pessoas e na perda de terras agrícolas e recursos naturais tradicionais. Isso pode levar a conflitos sociais, perda de meios de subsistência e impactos culturais negativos para as comunidades afetadas (Custódio et al., 2022).

Apesar dos impactos ambientais e sociais das usinas hidroelétricas, é importante reconhecer que esses empreendimentos também oferecem benefícios significativos, como a geração de eletricidade renovável e de baixo custo. As usinas hidroelétricas desempenham um papel importante na diversificação da matriz energética, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e contribuindo para a segurança energética (Santiago, Oliveira Filho, 2019).

No entanto, para maximizar os benefícios e minimizar os impactos negativos das usinas hidroelétricas, é essencial adotar abordagens de planejamento e gestão sustentáveis. Isso inclui a realização de avaliações de impacto ambiental abrangentes, consultas públicas e envolvimento das partes interessadas desde as fases iniciais do planejamento. É obrigatório considerar os impactos cumulativos e sinérgicos das usinas hidroelétricas, bem como identificar medidas de mitigação e compensação eficazes (Das Neves Barros, Brabo, Ferreira, 2020).

A gestão adaptativa também é essencial para lidar com a incerteza e a complexidade dos ecossistemas aquáticos e terrestres afetados pelas usinas hidroelétricas. Isso requer monitoramento contínuo dos impactos ambientais e sociais, bem como a implementação de medidas corretivas e preventivas conforme necessário. A transparência e a prestação de contas também são obrigatórios para garantir a sustentabilidade e a responsabilidade das usinas hidroelétricas (Carvalho et al., 2018).

É importante explorar alternativas e complementaridades às usinas hidroelétricas, como fontes de energia renovável menos impactantes, como por exemplo a energia solar, e estratégias de eficiência energética. Essas abordagens podem ajudar a reduzir a pressão sobre os ecossistemas aquáticos e terrestres, enquanto ainda atendem à demanda crescente por eletricidade (Das Neves Barros, Brabo, Ferreira, 2020).

2.3 ASPECTOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

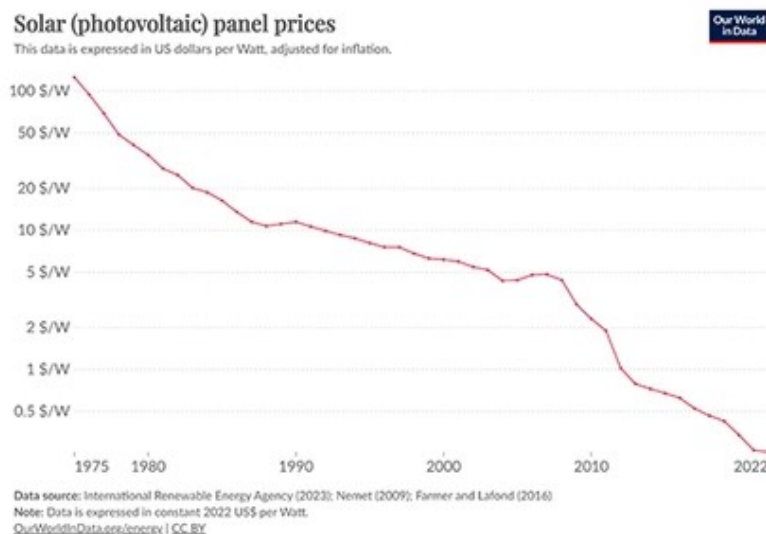
A energia fotovoltaica é uma forma de geração de energia elétrica que utiliza a luz do sol para produzir eletricidade por meio de células fotovoltaicas. Essa tecnologia tem se destacado como uma alternativa sustentável e ambientalmente amigável em comparação com fontes de energia tradicionais, como os combustíveis fósseis. (Junqueira, Uturbey, 2017).

Cabe também destacar que, a energia fotovoltaica não gera poluentes atmosféricos durante a sua operação, o que contribui para a melhoria da qualidade do ar e para a redução de problemas de saúde relacionados à poluição do ar, como doenças respiratórias e cardiovasculares. (Campos et al., 2017).

Outro aspecto ambiental positivo da energia fotovoltaica é a sua baixa pegada hídrica em comparação com outras formas de geração de energia, como a energia hidrelétrica e a energia nuclear. A energia solar não requer grandes volumes de água para a sua operação, apenas para manutenção, como na limpeza dos painéis fotovoltaicos, o que a torna uma opção mais sustentável em regiões propensas a escassez de água ou períodos de seca. Isso é especialmente importante em um contexto de mudanças climáticas, no qual a disponibilidade de água doce está se tornando cada vez mais limitada (Campos et al., 2017).

Em relação aos benefícios ambientais, a energia fotovoltaica também apresenta vantagens econômicas significativas. O custo dos sistemas fotovoltaicos tem diminuído drasticamente nos últimos anos (Figura 1), tornando-se uma opção acessível para consumidores residenciais, comerciais e industriais. Essa redução de custos tem sido impulsionada por avanços tecnológicos, economias de escala na produção e políticas de incentivo governamentais (Junqueira, Uturbey, 2017).

Figura 1 - Preço painéis solares fotovoltaicos



Fonte: Portal Solar (2022).

Os sistemas solares fotovoltaicos também têm a capacidade de reduzir os custos de eletricidade a longo prazo, uma vez que o sol é uma fonte de energia gratuita e abundante. Ao instalar um sistema solar fotovoltaico para geração própria em uma residência ou empresa, os proprietários podem reduzir ou até mesmo eliminar sua dependência da rede elétrica convencional, resultando em economias significativas em suas contas de energia ao longo do tempo (Lagrimante et al., 2018).

A energia fotovoltaica tem o potencial de gerar empregos e estimular o crescimento econômico em diversas áreas, desde a fabricação e instalação de painéis solares até a manutenção e operação de usinas solares. Essa indústria em crescimento cria oportunidades de emprego em uma variedade de setores e pode contribuir para o desenvolvimento de comunidades locais (Campos et al., 2017).

Outro aspecto econômico importante da energia fotovoltaica é a sua capacidade de diversificar a matriz energética de qualquer país, reduzindo a dependência de fontes de energia importadas e voláteis, como o petróleo e o gás natural. Isso aumenta a segurança energética e a resiliência¹ do sistema elétrico

1 Resiliência (em sistemas de energia) - capacidade de antecipar, absorver, acomodar e se recuperar dos impactos climáticos adversos, associando a três dimensões principais: robustez; desenvoltura e recuperação (IEA, 2021).

nacional, tornando-o menos suscetível a interrupções no fornecimento e flutuações nos preços dos combustíveis fósseis (Oliveira et al., 2022).

A energia fotovoltaica pode contribuir para o desenvolvimento de comunidades rurais e remotas, fornecendo eletricidade em áreas onde o acesso à rede elétrica convencional é limitado ou inexistente. Isso pode melhorar a qualidade de vida das pessoas nessas regiões, permitindo o acesso a serviços básicos, como iluminação e comunicação (Lagrimante et al., 2018).

No entanto, apesar dos benefícios ambientais e econômicos da energia fotovoltaica, ainda existem desafios a serem enfrentados para sua adoção em larga escala. Um dos principais desafios é a necessidade de infraestrutura de armazenamento de energia para lidar com a intermitência da geração solar, garantindo um suprimento estável de eletricidade mesmo durante períodos de baixa irradiação solar ou à noite. Uma abordagem para enfrentar esse desafio é a adoção de baterias de armazenamento de energia, como bateria de Íon-Lítio² e de Fluxo³. (Campos et al., 2017).

Destaca-se também que a integração eficiente da energia fotovoltaica à rede elétrica existente requer investimentos em tecnologias de rede inteligente e sistemas de gerenciamento de energia. Essas tecnologias são essenciais para equilibrar a oferta e demanda de eletricidade, garantindo a estabilidade e confiabilidade do sistema elétrico em um cenário de crescente participação de fontes renováveis, como a energia solar (Oliveira et al., 2022).

Outro desafio importante é garantir a sustentabilidade ambiental da cadeia de suprimentos de energia fotovoltaica, desde a extração de matérias-primas até o descarte de painéis solares no final de sua vida útil. Isso inclui a redução do uso de materiais e recursos não renováveis, bem como o desenvolvimento de métodos de reciclagem e reutilização de componentes solares (Lagrimante et al., 2018).

Já a expansão da energia fotovoltaica enfrenta obstáculos regulatórios e políticos, como tarifas de conexão à rede elétrica, subsídios distorcivos e falta de políticas de incentivo claras e consistentes. A criação de um ambiente regulatório

2 As mais comuns para armazenar energia solar, oferecendo alta eficiência e durabilidade. Podem armazenar energia gerada durante o dia para ser usada à noite ou em dias nublados.

3 Adequadas para armazenamento de longo prazo, podem ser escaláveis e têm uma vida útil mais longa, sendo uma opção promissora para grandes instalações de energia solar.

favorável e estável é essencial para atrair investimentos e promover o crescimento sustentável do setor solar (Oliveira et al., 2022).

A legislação sobre o uso de energia renovável vem se adaptando às alterações do mercado, com o intuito de incentivar o seu uso e a maior acessibilidade. O órgão regulamentador é a Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica), que estabelece as normas conforme a Lei nº 2427/1996. Um dos maiores desafios do mercado de energia solar é o próprio governo, uma vez que existem vários projetos de lei que incentivam sua taxaço, como a Lei 14.300/2022 que estabelece que um percentual será descontado nos créditos de energia compensados junto a distribuidora. Isso significa que o consumidor deixará de abater o crédito de forma integral na conta de luz, com parte dele sendo utilizado para remunerar o serviço de distribuição (HCC Energia Solar, 2022).

2.4 VANTAGENS AMBIENTAIS DE USINAS FOTOVOLTAICAS EM RELAÇÃO AS USINAS HIDROELÉTRICAS

As usinas fotovoltaicas têm se destacado como uma fonte de energia limpa e renovável, apresentando diversas vantagens ambientais em comparação com as usinas hidrelétricas. Uma das principais vantagens é a não emissão de gases de efeito estufa durante sua operação (Figura 2). Enquanto as usinas hidrelétricas podem gerar emissões significativas de metano devido à decomposição da matéria orgânica nos reservatórios, as usinas fotovoltaicas não emitem gases poluentes durante a geração de eletricidade (Silva et al., 2018).

Figura 2 - Emissões dos gases (ton) do efeito estufa e dos poluentes do ar para geração de energia termelétrica e para geração de energia solar fotovoltaica em 25 anos.

		Emissão GEE (ton)					Emissão Poluentes do Ar - Operação (ton)			
		CO ₂				CH ₄	SO ₂	NO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}
		Total	Implantação	Descomissionamento	Operação					
Energia Termelétrica Gás Natural	Ciclo Combinado	250.206	640	26	249.540	948	2	13	32	30
	Ciclo Simples	362.248	27	0,4	362.220	1.434	3	80	32	30
Energia Solar	Fotovoltaica	22.515	22.005	510	0	0	0	0	0	0

Fonte: Neves e Shayani (2020).

Hidrelétricas emitem metano, um gás de efeito estufa com 25 vezes mais impacto sobre o aquecimento global por tonelada de gás do que o gás carbônico. O EIA-RIMA afirma que “o trabalho realizado no Rio Xingu, na área do reservatório do AHE⁴ Belo Monte, aponta para a estimativa de emissão de metano de 48 kg/km²/dia.

Salienta-se que as usinas fotovoltaicas quando operam em solo têm um impacto muito menor, ou não há impacto, sobre os ecossistemas aquáticos em comparação com as usinas hidrelétricas. As hidrelétricas muitas vezes resultam na inundação de grandes áreas de terra para a formação de reservatórios, o que pode levar à perda de habitat e à fragmentação de ecossistemas aquáticos, afetando a biodiversidade e a vida selvagem. As usinas fotovoltaicas, por outro lado, ocupam uma área relativamente pequena e não requerem a construção de reservatórios quando não são flutuantes (Giordani et al., 2022).

Enquanto as usinas hidrelétricas dependem da disponibilidade de água para gerar eletricidade, as usinas fotovoltaicas não requerem água para sua operação. Isso é especialmente importante em regiões propensas a secas ou escassez de água, onde o uso de água para a geração de energia pode competir com outros usos, como a agricultura e o abastecimento urbano (Sinkunas, 2022).

Destaca-se também que as usinas fotovoltaicas têm um ciclo de vida⁵, quanto a potência e geração de energia, mais curto em comparação com as usinas hidrelétricas. Enquanto as hidrelétricas podem operar por décadas ou até séculos, as usinas fotovoltaicas têm uma vida útil de cerca de 25 a 30 anos. Isso significa que as usinas fotovoltaicas têm um impacto ambiental mais limitado a longo prazo⁶ e podem ser facilmente desativadas e removidas no final de sua vida útil (Gama Júnior, 2021).

As usinas fotovoltaicas também oferecem vantagens em termos de flexibilidade e escalabilidade. Enquanto as usinas hidrelétricas exigem bilhões em investimentos de capital e longos períodos de construção, as usinas fotovoltaicas podem ser implantadas em fases menores e expandidas conforme necessário para atender à demanda crescente por eletricidade. Isso permite uma abordagem mais

4 Aproveitamento Hidrelétrica

5 Ciclo de vida (em potência e geração de energia) – Refere-se ao tempo onde a potência gerada é, ou próxima, da capacidade máxima.

6 Impacto ambiental limitado a longo prazo - Refere-se aos efeitos adversos de uma atividade ou projeto no meio ambiente que são minimizados ou contidos ao longo de um período prolongado.

adaptável e responsiva ao planejamento energético, reduzindo o risco de investimento em projetos de grande escala (Giordani et al., 2022).

Deve-se destacar também que as usinas fotovoltaicas são menos suscetíveis a eventos climáticos extremos, como secas e inundações, que podem afetar a produção de energia das usinas hidrelétricas. Enquanto as hidrelétricas dependem da disponibilidade de água para gerar eletricidade, as usinas fotovoltaicas podem continuar operando mesmo durante períodos de seca, desde que recebam luz solar adequada (Silva et al., 2018).

3 METODOLOGIA

Inicialmente, com o propósito de estabelecer uma base teórica sólida para embasar esta pesquisa, foi conduzida uma revisão bibliográfica.

Avançando, realizou-se um estudo de caso, o qual é baseado em uma abordagem comparativa entre uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH), a Forquilha IV, e uma usina solar fotovoltaica idealizada no município de Maximiliano de Almeida equivalente em capacidade produtiva em conjunto com a agricultura de soja na área excedente da PCH, visto que a PCH Forquilha IV, localizada entre os municípios de Maximiliano de Almeida e Machadinho, foi escolhida como referência, dado seu impacto regional e sua relevância no setor energético nacional.

Os dados necessários ao estudo foram coletados por meio de documentos digitais das instituições responsáveis pela operação e regulamentação desses empreendimentos, tais como EIA RIMA, relatórios anuais disponíveis nos sites oficiais das empresas envolvidas, base de dados públicos e portais da FEPAM-RS⁷. Essa abordagem permitiu uma compreensão abrangente dos aspectos técnicos, socioeconômicos e ambientais associados a ambas as fontes de energia, fornecendo assim um sólido embasamento para a análise comparativa realizada neste estudo. Os dados coletados incluem o número de placas solares necessárias, suas dimensões, área de ocupação, custos de instalação e funcionamento, custo da área, custo e produção esperada do soja, entre outros.

A interpretação dos resultados se baseia na análise das diferenças quantitativas e qualitativas entre a PCH Forquilha IV e a usina fotovoltaica, comparando desde custo total a custo por hectare, potência por hectare e custo por potência gerada.

A análise também considera o contexto local e regional, incluindo fatores socioeconômicos, políticos e ambientais que podem influenciar a viabilidade e o impacto de cada tipo de geração de energia. Essa abordagem permite uma compreensão mais profunda dos desafios e oportunidades associados à transição para fontes de energia mais limpas e sustentáveis.

7 Fundação Estadual de Proteção ao Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul.

4 RESULTADOS

A presente seção apresenta a análise dos resultados do estudo. Inicialmente é estudada a Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Forquilha IV Luciano Barancelli, localizada nas proximidades do rio Forquilha, entre os municípios de Maximiliano de Almeida e Machadinho, teve suas obras iniciadas em agosto de 2018. Fruto da parceria entre as cooperativas Crreral de Erechim, Ceriluz de Ijuí, Coprel de Ibirubá e a empresa Erechim Energia, o empreendimento foi planejado para ter uma potência instalada de 13 MW, com um investimento estimado em R\$ 74 milhões.

Desde o seu início em 2018 até sua conclusão e operação em 2020, a PCH Forquilha IV se estabeleceu como um importante marco para a região, devido a sua finalidade de produção de energia elétrica local (figuras 1 e 2). Com um barramento de 300 metros de comprimento e 8 metros de altura, além de uma área alagada de 41 hectares e um canal de adução de 530 metros, a estrutura da PCH proporciona uma geração de até 13 megawatts de energia elétrica. A casa de força abriga três turbinas, e a energia gerada é integrada ao Sistema Interligado Nacional por meio de uma linha de transmissão com extensão de 8,7 km.

Figura 3 - Construção da PCH Forquilha IV



Fonte: Google Imagens (2024).

Figura 4 - PCH Forquilha IV finalizada



Fonte: Google Imagens (2024).

A participação da PCH Forquilha IV no leilão de energia A-6 em 2017, promovido pelo governo federal, evidencia sua relevância no setor energético nacional. Sua seleção como um dos vencedores deste leilão garantiu um contrato de aproximadamente 74 milhões de reais e o fornecimento de energia com entrega prevista a partir de 2023, com duração de 30 anos.

A PCH Forquilha IV não apenas representa uma fonte de energia limpa e renovável, mas também demonstra o compromisso das cooperativas e empresas envolvidas com o desenvolvimento sustentável e a diversificação da matriz energética brasileira. O quadro 1 sintetiza as informações referentes a PCH Forquilha IV.

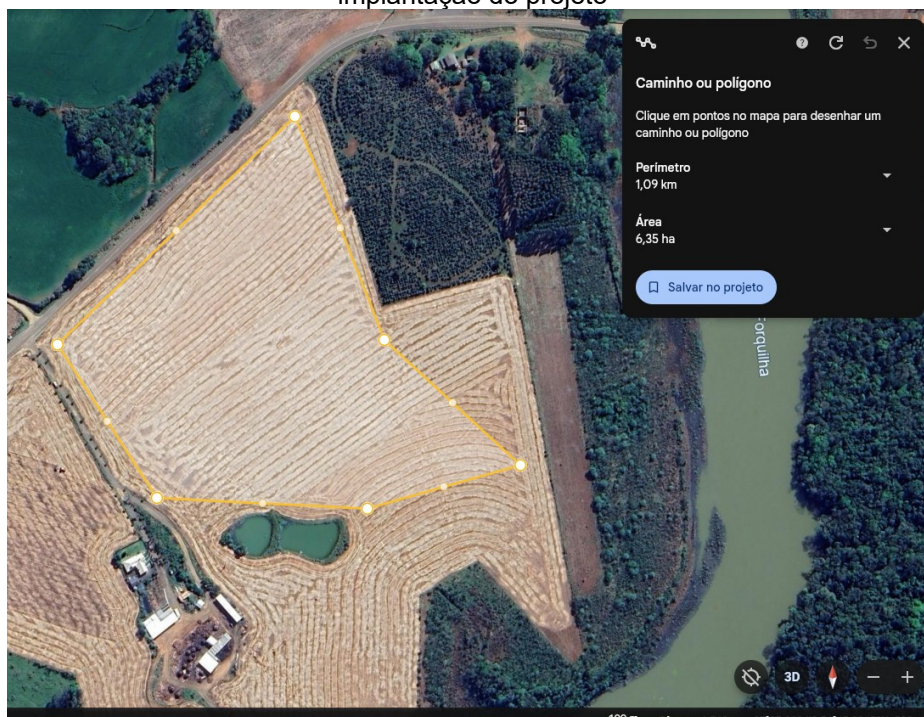
Quadro 1 - PCH Forquilha IV

Parâmetro	Valor
Potência	13 MW
Área alagada	41 hectares (410.000 m²)
Custo	Cerca de 74 milhões de reais

Fonte: Adaptado de Ceriluz (2020).

Avançando com o estudo, realizou-se a caracterização do local para uma construção da usina fotovoltaica idealizada no estudo. A figura 5 mostra o local onde o projeto poderia ser seguido, às margens do rio Forquilha IV e a 750 m do barramento da PCH Forquilha IV, com a área calculada apresentada no quadro 2.

Figura 5 - Local com a mesma área que a calculada no quadro 2 para implantação do projeto

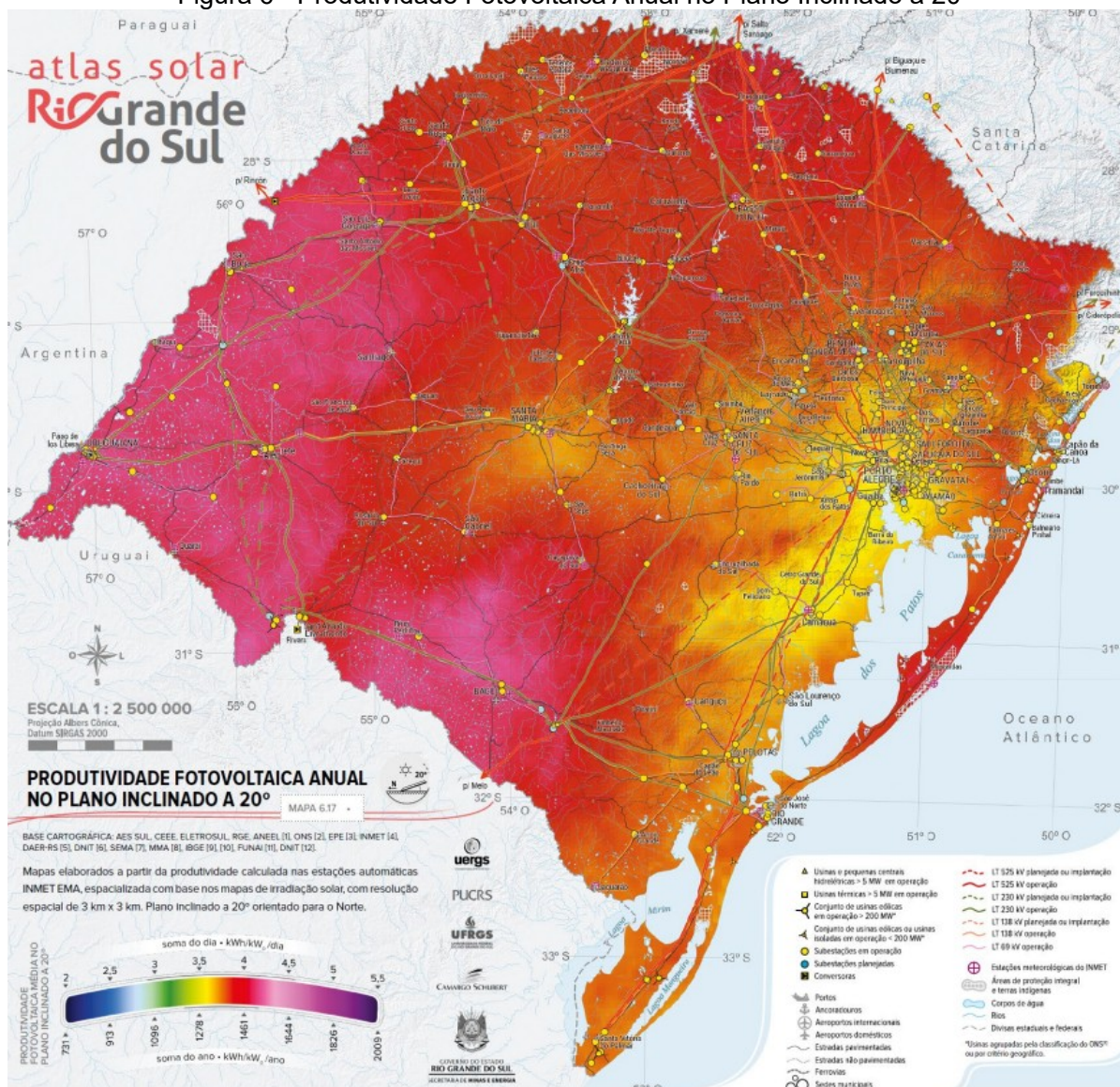


Google Earth (2024).

Na figura 6 é apresentado o mapa de produtividade anual fotovoltaica do estado do Rio Grande do Sul, o que demonstra que a região onde seria implantada a usina solar fotovoltaica possui ótimos resultados.

Na região onde é idealizada a usina solar fotovoltaica do estudo, o relevo é ondulado/acidentado, com algumas planícies utilizadas para a agricultura, como é o caso do local designado para implantação do projeto. A vegetação é predominante de Floresta de Araucária, característica do norte e nordeste do estado. O clima é considerado temperado úmido.

Figura 6 - Produtividade Fotovoltaica Anual no Plano Inclinado a 20°



Fonte: Governo do Estado do Rio Grande do Sul (2018).

Avançando com o levantamento de dados para uma usina solar fotovoltaica idealizada com a mesma capacidade produtiva do que a da PCH Forquilha IV. O quadro 2, apresenta esses dados.

Quadro 2 - Dados de uma usina fotovoltaica

Parâmetro	Valor
-----------	-------

Potência da PCH Forquilha IV já em funcionamento	13 MW
Número de placas solares necessárias	23.637
Dimensões de cada placa solar	2,28 m x 1,13 m
Área total de ocupação das placas solares	6,35 hectares (63.500 m ²)
Preço médio de uma placa solar	R\$ 1.500,00 (instaladas e funcionando)
Valor da área	R\$ 500.000,00 (aproximadamente)
Valor total do investimento	R\$ 35.955.500,00

Fonte: Adaptado de Ceriluz (2020).

Analizando as informações dos quadros 1 e 2 se verificam os parâmetros fundamentais da PCH Forquilha IV e da instalação de placas solares fotovoltaicas os quais são comparados neste estudo. Inicialmente, destaca-se a potência da PCH, que atinge 13 megawatts, evidenciando sua capacidade de geração elétrica significativa para a região da usina PCH Forquilha IV. O número de placas solares necessárias para atingir a mesma capacidade de geração revela a escala do projeto fotovoltaico, com quase 24 mil unidades requeridas, o que, considerando a área utilizada pelas mesmas, é satisfatório, visto que a área para gerar a mesma potência é menor.

As dimensões individuais de cada placa solar, que abrangem 2,28 metros de comprimento por 1,13 metro de largura, são cruciais para calcular a área total de ocupação das placas solares. Essa área, totalizando 6,35 hectares, representa a extensão de terra necessária para a instalação do sistema fotovoltaico, demonstrando a diferença marcante no espaço utilizado entre os dois métodos de geração de energia.

Cabe também destacar que o preço médio de uma placa solar, estimado em R\$ 1.500,00, é um fator determinante para calcular o investimento total necessário para o projeto fotovoltaico. Esse valor, quando multiplicado pelo número total de placas necessárias, resulta em um custo total para compra do sistema solar

fotovoltaico estimado de aproximadamente R\$ 35,5 milhões. Somando este custo ao custo do terreno necessário para implantação, de aproximadamente R\$ 500 mil (INCRA, 2020), têm-se um custo total de aproximadamente R\$ 36 milhões. Essa cifra representa o investimento inicial requerido para implementar o sistema fotovoltaico e colocá-lo em operação.

Comparando-se os custos estimados para a construção da PCH Forquilha IV, que totalizam aproximadamente R\$ 74 milhões, destaca-se uma notável discrepância de custo entre os dois métodos de geração de energia. Essa diferença ressalta não apenas o potencial de economia financeira ao optar pela energia solar em detrimento da hidrelétrica, mas também enfatiza os benefícios ambientais associados à energia renovável, conforme discutido na seção 2.3 da fundamentação teórica deste trabalho.

Cabe também analisar que na região em estudo, a produção agrícola assume um papel preponderante, com a soja se destacando como o principal produto cultivado. Em áreas como a região de Erechim, cada hectare de terra é capaz de produzir, em média, 37 sacas desse grão. Com o preço da saca girando em torno de R\$ 120,00, a rentabilidade por hectare atinge aproximadamente R\$ 4.440,00 em faturamento bruto. O quadro 3 sintetiza esses valores.

Quadro 3 - Produção de soja na região

Parâmetro	Valor
Produção média por hectare	37 sacas
Preço médio por saca	R\$ 120,00
Lucro bruto por hectare	R\$ 4.440,00

Fonte: Governo do Estado do Rio Grande do Sul (2022).

Essa análise oferece uma perspectiva interessante sobre o potencial econômico da utilização de energia fotovoltaica em comparação com a construção de uma pequena central hidrelétrica (PCH) como a Forquilha IV. Ao substituir a construção da PCH Forquilha IV por uma instalação fotovoltaica, que ocupa uma área menor, cerca de 6,35 hectares, haveria uma área excedente de aproximadamente 34,65 hectares. Essa área adicional poderia ser utilizada para a plantação de soja ou outras culturas agrícolas, visto que a economia da região é

embasada na agropecuária, com a soja, milho e trigo se destacando, gerando potencialmente um lucro adicional para os produtores locais. Adiante, o quadro 4 apresenta o cálculo do faturamento bruto total com a área excedente.

Quadro 4 - Lucro bruto total com a área excedente

Parâmetro	Valor
Área excedente após instalação da PCH	34,65 hectares
Produção média de soja por hectare	37 sacas
Preço médio por saca de soja	R\$ 120,00
Lucro bruto por hectare de soja	R\$ 4.440,00
Lucro bruto total com área excedente	R\$ 153.786,00

Fonte: Revista Cultivar (2023).

Esses números destacam a viabilidade econômica da utilização da terra de forma multifuncional, combinando a geração de energia renovável com a produção agrícola. A análise aborda a utilização da energia solar por meio de placas fotovoltaicas como uma alternativa sustentável e renovável para a geração de energia elétrica.

Outra análise que pode ser feita é em relação a produção energética por área necessária para implantação de cada tipo de geração de energia. O quadro 5 apresenta a potência de funcionamento por hectare, o custo por hectare e o custo por MW em 1 hectare de área da PCH Forquilha IV em relação a usina solar fotovoltaica idealizada neste trabalho.

Quadro 5 - Potência e custos por área de cada empreendimento

Parâmetro	PCH Forquilha IV	Usina Solar Fotovoltaica
Área (ha)	1	1
Potência (MW/ha)	0,32	2,05
Custo (R\$/ha)	1.804.878,05	5.669.291,34
Custo (R\$/MW)	5.640.243,91	2.765.507,97

Fonte: Adaptado de Ceriluz (2020).

É importante ressaltar a análise dos potenciais impactos ambientais das usinas solares de grande porte durante suas fases de construção e operação. Entre esses impactos, destacam-se a terraplanagem, que pode afetar a vegetação local e a fauna circundante. Essa consideração sublinha a importância de medidas mitigatórias, tais como estudos de impacto ambiental abrangentes, seleção criteriosa dos locais de instalação e implementação de um monitoramento ambiental contínuo, visando assim reduzir ao mínimo esses efeitos adversos.

No contexto do estudo de caso da PCH Forquilha IV, é possível relacionar essas considerações ambientais com a decisão de investir em energia solar fotovoltaica em vez de energia hidrelétrica. A construção da PCH requer uma área significativa de terra, cerca de 41 hectares, enquanto a instalação de placas fotovoltaicas para gerar a mesma quantidade de energia requer apenas cerca de 6,35 hectares.

Essa oportunidade de utilizar a terra de forma mais eficiente, para geração de energia e agricultura, diferentemente de uma PCH que utiliza apenas para geração de energia, representa um conceito fundamental no contexto do desenvolvimento sustentável⁸. Ao optar por instalações fotovoltaicas em vez de construções hidrelétricas em larga escala, se pode otimizar o uso dos recursos naturais disponíveis, garantindo benefícios tanto para a geração de energia quanto para a agricultura local.

A combinação de energia renovável e produção agrícola oferece uma abordagem integrada que não apenas diversifica a economia local, mas também promove a autossuficiência. Essa sinergia entre os setores energético e agrícola cria uma oportunidade única para maximizar o uso da terra, mitigar os impactos ambientais e promover um desenvolvimento mais equilibrado e sustentável.

Ao utilizar a área excedente resultante da opção por instalações fotovoltaicas para o cultivo de culturas agrícolas, como a soja, não apenas se aproveita de forma mais eficiente os recursos naturais disponíveis, mas também se gera benefícios econômicos adicionais para os produtores locais. Essa diversificação econômica pode reduzir a dependência de uma única fonte de renda e diminuir impactos

8 Conceito de desenvolvimento sustentável - Refere-se a um modelo de crescimento econômico e progresso social que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades.

econômicos nas comunidades rurais a choques externos, como flutuações nos preços das commodities, a integração de instalações fotovoltaicas pode proporcionar sombra e proteção para as culturas agrícolas, ajudando a mitigar os efeitos de temperaturas extremas e outras condições climáticas adversas. Além disso, a geração de energia solar é menos susceptível a flutuações climáticas do que a produção agrícola, proporcionando uma fonte de renda mais estável, a diversificação das fontes de renda com a geração de energia solar pode ajudar a compensar perdas na produção agrícola causadas por pragas ou doenças, proporcionando uma estabilidade financeira maior aos agricultores.

Ressalta-se também que a integração de usinas solares com atividades agrícolas pode contribuir para a conservação da biodiversidade e a preservação dos ecossistemas locais. Ao evitar a expansão da infraestrutura energética, como por exemplo a construção de uma hidrelétrica, sobre áreas naturais intocadas, se pode minimizar os impactos negativos sobre a flora e a fauna nativas, mantendo a integridade dos habitats e promovendo a coexistência harmoniosa entre atividades humanas e ecossistemas naturais.

Ao considerar cuidadosamente os benefícios e desafios de diferentes opções de geração de energia e integrá-las de forma estratégica com outras atividades econômicas, se pode criar um futuro mais seguro, inclusivo e ambientalmente consciente para todos.

A busca por alternativas de aumento da demanda de energias renováveis é um tema cada vez mais presente nas discussões sobre o futuro da matriz energética brasileira. Uma das opções é a geração distribuída, que tem ganhado destaque nos últimos anos. De acordo com Oliveira et al. (2019), a geração distribuída é uma forma de produzir energia elétrica próximo ao ponto de consumo, utilizando fontes renováveis como a solar, a eólica e a hidrelétrica de pequeno porte.

Outra alternativa para aumentar a demanda de energias renováveis é a adoção de políticas públicas que incentivem a utilização dessas fontes de energia. De acordo com Moraes et al. (2017), o governo brasileiro tem adotado medidas para incentivar a geração de energia renovável, como a criação de programas de financiamento e incentivos fiscais para a instalação de sistemas de geração de energia solar fotovoltaica.

Além disso, a utilização de sistemas de armazenamento de energia, no caso da energia solar fotovoltaica pode-se usar uma bateria de íons de lítio (Portal Solar,

2024), é uma alternativa para aumentar a demanda de energias renováveis. Segundo Silva et al. (2018), os sistemas de armazenamento de energia são capazes de armazenar a energia produzida em períodos de alta geração para utilização em períodos de baixa geração, como durante a noite ou em dias sem sol.

Outra opção é o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e acessíveis para a produção de energias renováveis. Segundo Santos et al. (2020), a inovação tecnológica tem sido um importante fator para a expansão da produção de energia renovável, permitindo a criação de sistemas mais eficientes e com custos cada vez menores.

Por fim, a criação de mercados locais de energia renovável também pode contribuir para o aumento da demanda dessas fontes de energia. De acordo com Souza et al. (2021), a criação de comunidades energéticas pode permitir que os consumidores se tornem produtores de energia, incentivando a geração de energia renovável e a utilização de tecnologias mais eficientes.

No entanto, é importante ressaltar que a implantação de projetos de geração de energia renovável também pode gerar impactos ambientais significativos. De acordo com Santos e Alves (2020), a construção de usinas hidrelétricas pode afetar o ecossistema aquático e a biodiversidade local.

Para minimizar esses impactos, é obrigatório que sejam realizados estudos de impacto ambiental antes da implantação de projetos de geração de energia renovável. Segundo Ribeiro et al. (2017), esses estudos devem levar em consideração não apenas os impactos diretos da implantação dos projetos, mas também os impactos indiretos, como a construção de infraestrutura para acesso aos locais de geração de energia.

Além disso, é importante que os projetos de geração de energia renovável sejam desenvolvidos levando em consideração critérios de sustentabilidade. De acordo com Bezerra e Pereira (2019), esses critérios devem incluir a utilização de tecnologias de baixo impacto ambiental, a minimização do uso de recursos naturais e a utilização de materiais reciclados ou de fontes renováveis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise comparativa entre a Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Forquilha IV e uma usina fotovoltaica equivalente proporcionou uma compreensão abrangente dos desafios e oportunidades associados à geração de energia limpa e sustentável. Os resultados destacam várias conclusões importantes que podem orientar políticas públicas, estratégias de investimento e práticas de desenvolvimento sustentável.

Em primeiro lugar, os dados analisados revelam que a energia solar fotovoltaica apresenta um potencial significativo como alternativa viável e econômica à energia hidrelétrica. A comparação entre os parâmetros técnicos e os custos de implementação e operação das duas formas de geração de energia mostra que a energia solar pode oferecer benefícios econômicos substanciais, especialmente em termos de custo total de investimento e eficiência energética.

A análise ressalta os impactos ambientais associados a cada tipo de geração de energia. Enquanto a construção e operação de uma PCH podem resultar em impactos significativos sobre os ecossistemas aquáticos e terrestres, a energia solar fotovoltaica tem um perfil ambiental mais favorável, com impactos mínimos sobre os recursos naturais.

Os resultados destacam o potencial de sinergias entre a geração de energia renovável e outras atividades econômicas, como a agricultura. A utilização eficiente da terra, combinando a instalação de usinas fotovoltaicas com práticas agrícolas sustentáveis, pode não apenas maximizar o aproveitamento dos recursos naturais disponíveis, mas também gerar benefícios econômicos adicionais e promover o fortalecimento das comunidades locais.

Concluiu-se então, que os resultados desta pesquisa reforçam a importância da transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável, destacando as oportunidades e os desafios associados à adoção de tecnologias renováveis, como a energia solar fotovoltaica. Ao considerar cuidadosamente os impactos econômicos, ambientais de diferentes opções de geração de energia, se pode criar estratégias eficazes para promover o desenvolvimento sustentável e garantir um futuro mais resiliente e equitativo para todos.

Embora o estudo tenha destacado as vantagens da energia solar fotovoltaica sobre a hidrelétrica, é importante reconhecer algumas limitações e áreas para

futuras investigações. Por exemplo, o estudo não considerou totalmente os efeitos sazonais e climáticos na eficiência das usinas solares em diferentes regiões e épocas. Além disso, seria útil aprofundar a análise dos impactos ambientais e explorar estratégias de armazenamento de energia para lidar com a variabilidade das fontes renováveis. Estudos futuros podem fornecer pontos valiosos para orientar políticas e práticas de desenvolvimento sustentável, facilitando uma transição mais suave para uma matriz energética mais limpa.

REFERÊNCIAS

ALVES, L. A. C. et al. Tecnologias aplicáveis em geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis em regiões rurais. **Revista Virtual de Química**, v. 13, n. 5, p. 1628-1641, 2021.

BEZERRA, D. N.; PEREIRA, M. V. G. **Avaliação da viabilidade econômica do uso da energia solar em propriedades rurais**: estudo de caso em Cuité-PB. In: Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, 4., 2019, Recife. Anais [...]. Recife: CBGAS, 2019. p. 1-9.

BICHUETI, Roberto Schoprone. Cidades Sustentáveis no Contexto Brasileiro: A Importância do Planejamento para o Desenvolvimento Urbano Sustentável. In: **ENGEMA**, 19., 2019, [s.l.]. Anais [...]. [S.l.]: [s.n.], 2019. p. 1-16.

CAMPOS, Adriana Fiorotti et al. Um panorama sobre a energia geotérmica no Brasil e no mundo: Aspectos ambientais e econômicos. **Revista Espacios, Caracas**, v. 38, n. 1, p. 8-25, 2017.

CARVALHO, Dayane Nayara et al. Critérios usados na definição de áreas de influências, impactos e programas ambientais em estudos de impacto ambiental de usinas hidrelétricas brasileiras. **Geosciences = Geociências**, [S.l.], v. 37, n. 3, p. 639-653, 2018.

CERILUZ. **PCH Forquilha IV Luciano Barancelli está pronta para entrar em testes**. 2020. Disponível em: <<https://www.ceriluz.com.br/index.php/news/todas-noticias/756-pch-forquilha-iv-luciano-barancelli-esta-pronta-para-entrar-em-testes#:~:text=A%20PCH%20Forquilha%20IV%20Luciano%20Barancelli&text=O%20barramento%20constru%C3%ADdo%20para%20a,uma%20%C3%A1rea%20de%2041%20hectares.>>. Acessado em 10 de abril de 2024.

COSTA, Carlos Rafael Röhrig et al. Desenvolvimento Urbano Sustentável: Uma análise da produção científica internacional. **Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria**, Santa Maria, v. 11, p. 518-535, 2018.

CUSTÓDIO, Douglas et al. Usinas hidrelétricas e seus impactos ambientais. In: EXPOSIÇÃO ANUAL DE TECNOLOGIA, EDUCAÇÃO, CULTURA, CIÊNCIAS E ARTE, 2., 2022, Guarulhos. Anais [...]. Guarulhos: **Instituto Federal de São Paulo - Câmpus Guarulhos**, 2022. v. 2.

DAS NEVES BARROS, Kaio Diego; BRABO, Marcos Ferreira; FERREIRA, Antônio Carvalho. Impactos de usinas hidrelétricas sobre os recursos pesqueiros amazônicos: os casos de Tucuruí e Belo Monte. **Gaia Scientia**, [S.l.], v. 14, n. 4, p. 1-15, 2020.

DE OLIVEIRA, Adriana Tenir Egéa et al. A energia solar fotovoltaica: transformação, evolução, aspectos ambientais e abordagens na sala de aula. **Research, Society and Development**, [S.l.], v. 11, n. 9, p. e25811932533-e25811932533, 2022.

DE OLIVEIRA, Bruno Bastos; DA CUNHA, Belinda Pereira; MARTINS, Solange. A aplicação de tecnologias limpas para o desenvolvimento urbano sustentável através da implantação de energia fotovoltaica. **Direito e Desenvolvimento**, [S.l.], v. 12, n. 1, p. 158-179, 2021.

GAMA JÚNIOR, Mauricio. **Sistemas fotovoltaicos flutuantes**: uma solução energética sustentável para a Amazônia? Manaus: UFAM, 2021.

GIORDANI, Soraia et al. Aspectos ambientais, de licenciamento e avaliação do potencial de implantação de usinas fotovoltaicas flutuantes no estado do Paraná. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR**, 2022, [s.l.]. Anais [...]. [S.l.]: [s.n.], 2022. p. 1-9.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Painel do agronegócio do Rio Grande do Sul**. (2022). Departamento de Economia e estatística (DEE/SPGG). Disponível em: <<https://arquivofee.rs.gov.br/sinteseilustrada/caracteristicas-da-agropecuaria-do-rs/>>. Acessado em 10 de abril de 2024.

JUNQUEIRA, Rafael Coelho; UTURBEY, Wadaed. Valoração econômica de impactos ambientais da energia solar fotovoltaica: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Energia Solar**, [S.l.], v. 8, n. 1, p. 50-58, 2017.

LAGRIMANTE, Danilo Miranda et al. Estudo da aplicação de energia fotovoltaica. **Revista Pesquisa e Ação**, [S.l.], v. 4, n. 1, p. 162-170, 2018.

MORAES, L. et al. Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos em prédios residenciais: um estudo de caso em Brasília. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 10, n. 1, p. 88-98, 2020.

OLIVEIRA, J. M. C. et al. Análise econômica de sistemas fotovoltaicos em edificações comerciais no Brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 9, n. 2, p. 64-76, 2019.

PEREIRA, L. S. et al. Análise da viabilidade econômica da utilização da energia solar fotovoltaica em uma edificação escolar na região Norte do Brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 8, n. 1, p. 22-31, 2018.

REVISTA CULTIVAR. **Custos de produção estão elevados no RS**. 2023. Disponível em: <<https://revistacultivar.com.br/index.php/noticias/custos-de-producao-estao-elevados-no-rs#:~:text=A%20produtividade%20média%20da%20soja,de%20mais%20de%2060%20sacas.>>. Acessado em 10 de abril de 2023.

RIBEIRO, J. C. et al. **Energia Solar Fotovoltaica: Potencialidades e Desafios**. In: VII Jornada Científica & VI Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2017, Feira de Santana. Anais... Feira de Santana: UEFS, 2017. p. 1-5.

SANTIAGO, Giselle Feliz; OLIVEIRA FILHO, Olavo Bilac Quaresma. Impacto de usinas hidrelétricas: implicações legais e ambientais no extremo norte do Brasil. **Brazilian Journal of Development**, [S.l.], v. 5, n. 6, p. 6763-6781, 2019.

SANTOS, L. C. et al. **Análise da viabilidade técnica e econômica da geração de energia solar fotovoltaica em propriedades rurais do semiárido brasileiro**. In:

Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2021, Vitória. Anais... Vitória: SBEA, 2021. p. 1-7.

SILVA, Jerrylee Dilson Yoshii; DA SILVA, Thalita Reis; DE MOURA, Erick Freitas. Smart Grids como alternativa de desenvolvimento urbano inteligente e sustentável em Parintins/AM. **Revista Caribeña de Ciencias Sociales (RCCS)**, [S.l.], v. 10, n. 8, p. 176-191, 2021.

SILVA, Lara Raquel de Jesus Rodrigues; SHAYANI, Rafael Amaral; DE OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves. Análise comparativa das fontes de energia solar fotovoltaica, hidrelétrica e termelétrica, com levantamento de custos ambientais. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR**, 2018, [s.l.]. Anais [...]. [S.l.]: [s.n.], 2018.

SILVA, R. C. et al. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos off-grid: estudo de caso em propriedades rurais do município de Ilhéus – Bahia**. In: III Workshop de Engenharia Ambiental, 2021, Ilhéus. Anais... Ilhéus: UESC, 2021. p. 1-7.

SINKUNAS, Esther de Freitas Sanches. Solar fotovoltaica flutuante: tecnologias, vantagens, desvantagens e desafios. [S.l.]: Repositório UEG, 2022.

SOUZA, L. R. et al. Energia Solar Fotovoltaica: Análise de Viabilidade Econômica em uma Empresa do Ramo Alimentício em Natal-RN. In: **Jornada de Iniciação Científica e Extensão**, 2021, Natal. Anais... Natal: UFRN, 2021. p. 1-10.

TERRIN, Kátia Alessandra Pastori; BLANCHET, Luiz Alberto. Direito de energia e sustentabilidade: uma análise dos impactos negativos das usinas hidrelétricas no Brasil. **Revista Videre**, [S.l.], v. 11, n. 22, p. 47-63, 2019.

ZILLES, R. **Energia Solar Fotovoltaica: Tecnologia, Projeto e Aplicação**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2018.