

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNO LEIBANTE LORETO RIBEIRO

ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRO DAS FONTES DE ENERGIA:
HIDRELÉTRICA E FOTOVOLTAICA

LONDRINA

2024

Bruno Leibante Loreto Ribeiro

ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRO DAS FONTES DE ENERGIA: HIDRELÉTRICA
E FOTOVOLTAICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós-Graduação MBA em Gestão Estratégica em Energias Naturais Renováveis, Setor de Agrarias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Energias Naturais Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Daniel R. Poit

LONDRINA

2024

RESUMO

Este estudo analisa a viabilidade econômico-financeira das fontes de energia hidrelétrica e fotovoltaica no Brasil, considerando projetos de investimento e com a capacidade instalada de 1 MW. A pesquisa inclui uma comparação detalhada dos custos iniciais (CAPEX), custos operacionais anuais (OPEX), receitas anuais e indicadores de retorno, como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e tempo de payback. Os resultados indicam que a energia fotovoltaica apresenta um menor investimento inicial, menor custo operacional e um retorno mais rápido, com uma TIR de 9,89% e um VPL de R\$ 822.429,49. A hidrelétrica, apesar de ter maior capacidade de geração e estabilidade de receita, requer um maior investimento inicial e possui uma TIR de 7,59%. Conclui-se que a escolha entre as duas fontes deve ser orientada por objetivos de investimento e horizonte de retorno, com a fotovoltaica sendo mais indicada para médio prazo e menor risco, e a hidrelétrica para estabilidade e longo prazo.

Palavras-chave: Viabilidade econômica, energia fotovoltaica, energia hidrelétrica, TIR, VPL.

ABSTRACT

This study analyzes the economic and financial feasibility of hydropower and photovoltaic energy sources in Brazil, considering projects with a 1 MW installed capacity. The research provides a detailed comparison of initial costs (CAPEX), annual operational costs (OPEX), annual revenues, and return indicators, such as Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and payback period. The results indicate that photovoltaic energy offers lower initial investment, lower operational costs, and faster returns, with an IRR of 9.89% and an NPV of R\$ 822,429.49. Hydropower, despite higher generation capacity and revenue stability, requires a larger initial investment and has an IRR of 7.59%. It is concluded that the choice between the two sources should be guided by investment objectives and return horizon, with photovoltaic energy being more suitable for the medium term and lower risk, while hydropower offers long-term stability.

Keywords: Economic feasibility, photovoltaic energy, hydropower, IRR, NPV.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. DESENVOLVIMENTO	7
2.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	7
2.2 ENERGIA HIDRELÉTRICA.....	9
2.3 VIABILIDADE ECONÔMICA-FINANCEIRA	11
2.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE.....	12
2.4.1 Viabilidade de Energia Fotovoltaica	13
2.4.2 Viabilidade de Energia Hidrelétrica	15
2.4.3 Análise Comparativa	18
3. CONCLUSÃO	20

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma matriz energética diversificada, caracterizada por uma forte presença de fontes renováveis, entre as quais a energia hidrelétrica e a solar fotovoltaica desempenham papéis estratégicos. A energia hidrelétrica, tradicionalmente considerada a espinha dorsal do sistema elétrico nacional, responde por cerca de 63% da geração total de eletricidade do país, sendo impulsionada por abundantes recursos hídricos e condições geográficas favoráveis, como rios de grande vazão e desnível topográfico (EPE, 2021).

A construção de grandes usinas hidrelétricas ao longo das últimas décadas tem sido fundamental para o crescimento econômico, oferecendo uma energia limpa e contínua, além de ser uma opção de baixo custo operacional no longo prazo. No entanto, essa fonte de energia também enfrenta desafios, como os altos custos de construção, impactos ambientais consideráveis e a dependência de fatores climáticos, o que a torna vulnerável a períodos de estiagem prolongada, agravando riscos à segurança energética (VIAN et al., 2021).

Paralelamente, a energia solar fotovoltaica tem emergido como uma das alternativas renováveis mais promissoras. Seu crescimento tem sido impulsionado pelo avanço tecnológico, redução de custos dos equipamentos e políticas públicas de incentivo à geração distribuída, estabelecidas por meio da Resolução Normativa ANEEL nº 1000/2021 (ANEEL, 2021).

Essa tecnologia converte diretamente a radiação solar em eletricidade, tornando-se uma solução versátil e acessível para a geração de energia, tanto em áreas urbanas quanto rurais, com instalações em telhados de residências, comércios, indústrias e até em sistemas de grande escala (PEREIRA, 2019).

Diante desse contexto esse trabalho busca realizar uma análise comparativa de viabilidade econômica e financeira entre projetos de investimento utilizando-se de geração de energia fotovoltaica e hidrelétrica. Por meio dessa abordagem, busca-se oferecer uma visão clara e objetiva sobre as potencialidades e limitações de cada tecnologia, auxiliando na tomada de decisão de investidores e na formulação de políticas públicas para a expansão sustentável do setor energético brasileiro.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia fotovoltaica tem emergido como uma das fontes renováveis mais promissoras no cenário energético global, baseando-se na conversão direta da luz solar em eletricidade por meio de células fotovoltaicas. Essa tecnologia permite que consumidores produzam sua própria energia, aproveitando a radiação solar através de placas compostas por materiais semicondutores, como o silício (PETROLI, 2023).

No Brasil, a energia solar fotovoltaica tem ganhado destaque significativo. Conforme relatado pela Absolar (2023), em 2022, o país alcançou um marco histórico com a geração de 22,3 gigawatts (GW) de potência instalada em energia solar fotovoltaica. Essa conquista representa um avanço substancial para o setor, colocando a energia solar no caminho para potencialmente ultrapassar a geração eólica nos anos seguintes.

Para a produção de energia elétrica a partir da luz solar, utilizam-se condutores que capturam a radiação solar e a convertem diretamente em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico. As células fotovoltaicas, principais componentes desse sistema, são organizadas em módulos projetados para aumentar os níveis de tensão e corrente de acordo com objetivos específicos, produzindo corrente contínua de baixa tensão quando expostas à luz solar. Esses módulos podem ser compostos por diferentes tipos de silício, como o policristalino, monocristalino e amorfo, cada um com características e eficiências distintas. Além disso, existem módulos de filme fino com encapsulamento flexível, que permitem maior versatilidade nas aplicações (PEQUENO, 2018).

Os cabos que conectam os módulos fotovoltaicos são ligados aos terminais do painel, formando um sistema robusto e duradouro, geralmente com vida útil em torno de 30 anos, devido à resistência dos materiais utilizados contra condições climáticas adversas. Os componentes das instalações solares fotovoltaicas conectadas à rede incluem, além dos painéis solares, sistemas de montagem para estruturas, inversores (que transformam corrente contínua em corrente alternada), baterias, dispositivos de bypass e bloqueio, fusíveis, disjuntores, cabos elétricos e caixas de conexão. Esses elementos são essenciais para o funcionamento eficiente e seguro do sistema (PEQUENO, 2018).

Os sistemas de energia solar fotovoltaica podem ser categorizados em três tipos principais: isolados, distribuídos e centralizados. No contexto brasileiro, a geração distribuída,

que se conecta à rede de distribuição elétrica, é relativamente pequena em escala e geralmente instalada em telhados residenciais ou comerciais. Esse tipo de sistema tem ganhado popularidade devido à sua versatilidade, custo acessível e às regulamentações estabelecidas pela Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2021).

A energia fotovoltaica oferece diversas vantagens significativas. Segundo Oliveira et. al, (2022), trata-se de uma fonte limpa, renovável e abundante, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e mitigando os impactos das mudanças climáticas. Além disso, a facilidade de instalação dos sistemas fotovoltaicos permite sua implementação na maioria dos telhados residenciais, promovendo a descentralização da geração de energia e aumentando a segurança energética. Do ponto de vista econômico, a adoção dessa tecnologia pode resultar em economia na conta de luz a longo prazo, além de fomentar o desenvolvimento tecnológico e a geração de empregos no setor de energias renováveis (PEREIRA, 2019).

No entanto, a energia fotovoltaica também apresenta algumas desvantagens que devem ser consideradas. Uma delas é a intermitência na produção de eletricidade, uma vez que a geração depende da incidência de luz solar, não ocorrendo durante a noite e sendo afetada por condições climáticas adversas, como dias nublados ou chuvosos. Isso exige a integração com sistemas de armazenamento de energia, como baterias, ou a complementação com outras fontes energéticas para garantir o suprimento contínuo de eletricidade (MACHADO e MIRANDA, 2015).

Outro desafio relevante no contexto brasileiro é a ausência de incentivos fiscais governamentais significativos, o que pode tornar a instalação de sistemas fotovoltaicos financeiramente inacessível para grande parte da população. Segundo Petrolí (2023), embora existam opções de financiamento disponíveis, as elevadas taxas de juros constituem uma barreira adicional à implementação dessa tecnologia em larga escala. Além disso, os custos iniciais de investimento ainda são considerados altos, apesar da tendência de redução de preços decorrente do avanço tecnológico e do aumento da escala de produção global.

A despeito desses desafios, as perspectivas para a energia fotovoltaica no Brasil são promissoras. O país possui um dos maiores níveis de radiação solar do mundo, oferecendo um potencial vasto e pouco explorado para a geração de energia solar. Políticas públicas de incentivo, como programas de isenção fiscal, subsídios e linhas de crédito com taxas de juros reduzidas, poderiam impulsionar significativamente o crescimento do setor, tornando a energia

fotovoltaica mais acessível e competitiva em relação às fontes convencionais (OLIVEIRA et. al, 2022).

Adicionalmente, a conscientização da sociedade sobre a importância da sustentabilidade e da utilização de fontes de energia renováveis tem aumentado, o que pode favorecer a adoção de sistemas fotovoltaicos. Investimentos em pesquisa e desenvolvimento também são fundamentais para aprimorar a eficiência das células fotovoltaicas e reduzir os custos de produção e instalação (PEREIRA, 2019).

2.2 ENERGIA HIDRELÉTRICA

A energia hidrelétrica é uma forma de energia renovável obtida a partir da energia potencial gravitacional da água, que é convertida em energia mecânica por meio de dispositivos como rodas d'água ou turbinas. Essa energia mecânica é então transformada em energia elétrica por geradores em usinas hidrelétricas. A geração de energia elétrica a partir de fontes hidráulicas tem sido fundamental para o desenvolvimento econômico e social de diversos países, especialmente no Brasil, que possui abundantes recursos hídricos (KARPINSKI, 2008).

No Brasil, a energia hidrelétrica desempenha um papel crucial na matriz energética nacional. O país é o segundo maior produtor de energia hidrelétrica do mundo, ficando atrás apenas da China. Aproximadamente 63% da eletricidade gerada no Brasil provém de usinas hidrelétricas, evidenciando a importância dessa fonte energética para o abastecimento nacional. A abundância de rios e a topografia favorável contribuem para o potencial hidroelétrico brasileiro, tornando viáveis projetos de grande porte que aproveitam a energia cinética e potencial da água (EPE, 2021).

A conversão da energia potencial da água em energia elétrica ocorre quando a água armazenada em um reservatório é liberada, fluindo por tubulações em alta pressão que direcionam o fluxo para as turbinas. Essas turbinas convertem a energia cinética da água em energia mecânica de rotação, a qual é então transformada em energia elétrica por geradores acoplados. A energia produzida é transmitida em alta tensão por longas distâncias até os centros urbanos, onde há maior demanda (VIAN et al., 2021).

Além das grandes usinas hidrelétricas, existem versões menores e consideradas mais ecologicamente corretas, conhecidas como Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) ou Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH). Essas instalações requerem menos infraestrutura e têm menor impacto ambiental, pois geralmente não necessitam de grandes reservatórios, reduzindo assim

os efeitos sobre o ecossistema local e as comunidades próximas (MARI JUNIOR et al., 2013). As PCHs são alternativas importantes para a diversificação da matriz energética e para o fornecimento de energia em áreas remotas.

Apesar dos benefícios associados à energia hidrelétrica, sua implantação apresenta desafios significativos. A construção de usinas hidrelétricas exige investimentos elevados e um planejamento meticuloso para evitar erros dispendiosos. O impacto ambiental é uma preocupação central, uma vez que a criação de reservatórios pode levar à inundação de grandes áreas, afetando ecossistemas, flora, fauna e comunidades humanas. O deslocamento de populações ribeirinhas e indígenas é uma consequência frequente, gerando conflitos socioambientais e exigindo medidas de mitigação e compensação (FEARNSIDE, 2015).

A localização adequada para a instalação de usinas hidrelétricas é outro desafio. É necessário encontrar locais com alto potencial energético, o que geralmente está associado a rios com grande vazão e desníveis significativos. Contudo, essas características muitas vezes coincidem com áreas ambientalmente sensíveis ou protegidas, aumentando a complexidade do licenciamento ambiental e da viabilidade do projeto. Para Sobrinho (2008), a figura de uma usina hidrelétrica ilustra o funcionamento desse tipo de empreendimento, onde se observa a água passando por tubulações e acionando turbinas antes de ser devolvida ao curso do rio em um nível inferior.

Os efeitos ambientais das usinas hidrelétricas incluem alterações no fluxo natural dos rios, mudanças nos ecossistemas aquáticos e terrestres, emissão de gases de efeito estufa provenientes da decomposição de matéria orgânica nos reservatórios e impactos sobre a biodiversidade. Para Gianelloni e Câmara (2016), embora sejam consideradas fontes de energia limpa por não emitirem poluentes durante a geração de eletricidade, é importante considerar todo o ciclo de vida e os impactos associados à sua construção e operação.

No contexto das mudanças climáticas, a dependência excessiva de energia hidrelétrica pode representar riscos. Eventos extremos, como secas prolongadas, podem reduzir significativamente a capacidade de geração das usinas, comprometendo o fornecimento de energia. Segundo Artaxo (2022), isso evidencia a necessidade de diversificar a matriz energética e investir em outras fontes renováveis, como a solar e a eólica, para garantir a segurança energética.

A desativação de usinas hidrelétricas também envolve custos elevados e complexidades adicionais. A restauração ambiental das áreas afetadas e o descomissionamento das estruturas requerem planejamento e recursos significativos. Portanto, é fundamental que os projetos

considerem todo o ciclo de vida da usina, desde a construção até a eventual desativação (VIAN et al., 2021).

Apesar dos desafios, a energia hidrelétrica continua sendo uma fonte fundamental para o Brasil. O aproveitamento sustentável dos recursos hídricos requer a implementação de políticas e práticas que minimizem os impactos ambientais e sociais. Isso inclui a realização de estudos de impacto ambiental abrangentes, a participação das comunidades afetadas no processo de tomada de decisão e o investimento em tecnologias que aumentem a eficiência e reduzam os danos (FEARNSIDE, 2015).

2.3 VIABILIDADE ECONÔMICA-FINANCEIRA

A viabilidade econômica tem como objetivo verificar se um investimento é viável. De acordo com Hoji (2009), “investimentos referem-se a aplicações de dinheiro em títulos, em ações, em imóveis, em maquinários, dentre outros, tendo como objetivo o lucro”. Segundo Ceconello (2013), o objetivo da análise de viabilidade é conseguir indicadores que aconselham ou não o investimento no objeto da análise. As técnicas tradicionais de avaliação de investimentos procuram expor ao investidor interessado três referências básicas para a tomada de decisão, a saber: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback.

O VPL é um indicador que busca calcular o valor presente de uma série de fluxos de caixa futuros, trazendo-os ao valor de hoje. É uma técnica que permite avaliar a viabilidade de um investimento ou projeto, levando em consideração a taxa de desconto, que é a taxa de retorno requerida para o investimento (BORDEAU-REGO, 2015).

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

Onde n é o índice de cada período, FC_t é o fluxo de caixa no período t , e i é a taxa de desconto utilizada no cálculo. Uma regra geral é que um projeto é considerado viável se o VPL for positivo, ou seja, se o valor presente dos fluxos de caixa futuros exceder o investimento inicial. Se o VPL for negativo, o projeto é considerado inviável (BORDEAU-REGO, 2015).

A TIR é a taxa de desconto que iguala o valor presente dos fluxos de caixa de um projeto ao seu investimento inicial, ou seja, faz com que o VPL seja zero. Assim, é uma taxa de retorno esperada para o projeto. Uma regra geral é que um projeto é considerado viável se a TIR for maior do que o custo do capital, ou seja, a taxa mínima de retorno requerida para o investimento (BORDEAU-REGO, 2015).

$$TIR = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{FC_t}{(1+i)^n} = 0 \quad (2)$$

Onde n é o índice de cada período, FC_t é o fluxo de caixa no período t , i é a taxa de desconto utilizada no cálculo e I_0 o investimento inicial. O Payback Descontado é o período necessário para que o valor presente dos fluxos de caixa futuros cubra o investimento inicial (BORDEAU-REGO, 2015). Ao contrário do Payback simples, ele leva em consideração o valor do dinheiro no tempo. A fórmula para o Payback Descontado é:

$$\text{Encontrar o menor } t \text{ tal que } \sum_{n=1}^{n=N} \frac{FC_t}{(1+i)^n} \geq I_0 \quad (3)$$

Esses indicadores são fundamentais na análise financeira para avaliar a viabilidade de projetos de investimento, permitindo uma compreensão abrangente dos retornos esperados em relação aos riscos e custos associados.

2.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE

Para realizar uma análise de viabilidade econômica e financeira comparando a energia fotovoltaica e a energia hidrelétrica de maneira simplificada, é fundamental estabelecer condições de comparação que assegurem a padronização e a equidade entre as duas fontes de geração. A análise considera uma capacidade instalada de 1 MW para ambas as fontes, de forma a equalizar a escala dos projetos e permitir uma avaliação direta e objetiva das vantagens e desvantagens de cada sistema em termos de custo, eficiência e retorno. Além disso o prazo a vida útil de cada projeto será de 30 anos (sem valor residual).

A escolha de 1 MW como base comparativa é justificada por ser uma unidade de capacidade suficientemente representativa e aplicável tanto para projetos de energia solar fotovoltaica quanto para Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH). Essa padronização evita distorções causadas por diferenças de porte, permitindo a análise de custos de investimento (CAPEX), custos operacionais anuais (OPEX), tempo de retorno do investimento (payback), e indicadores de rentabilidade, como o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

As fontes de informações utilizadas para a análise de viabilidade incluem órgãos reguladores e de pesquisa energética, como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que fornecem dados regulatórios,

técnicos e financeiros para ambas as tecnologias. Não foi possível encontrar dados exatos, pois esses são dificilmente divulgados e dependem de vários fatores, como localização geográfica, incentivos fiscais e condições específicas de instalação. No entanto, foram realizados levantamentos de valores médios com base em estudos de mercado e experiências práticas para fornecer estimativas representativas dos custos e receitas associados às fontes de energia analisadas.

2.4.1 Viabilidade de Energia Fotovoltaica

O Quadro 1 apresenta o investimento inicial necessário para a implementação de um projeto de energia fotovoltaica com capacidade instalada de 1 MW. Os custos foram levantados por meio de pesquisa de mercado e baseiam-se na experiência do autor deste estudo, proprietário de uma empresa especializada na comercialização e instalação de usinas fotovoltaicas.

Para a instalação de uma usina com capacidade de 1 MW, estima-se um investimento médio de R\$ 2.600.000. Desse total, os painéis solares representam a maior parcela do investimento (R\$ 1.500.000), seguidos pelos inversores (R\$ 300.000) e pelas despesas com aquisição do terreno (R\$ 200.000).

Quadro 1 – Investimento Inicial da Energia Fotovoltaica

Investimento Inicial	Valores (R\$)
Painéis Solares	1.500.000
Inversores	300.000
Estrutura de Montagem	150.000
Sistema de Monitoramento	50.000
Conexão à Rede	100.000
Despesas com Terreno	200.000
Licenças e Estudos Ambientais	100.000
Instalação e Engenharia	200.000
Total	2.600.000

Fonte: Annel (2024); BNDES (2024) e EPE (2024).

O quadro 2 destaca as despesas anuais do projeto de energia fotovoltaica, totalizando R\$ 130.000. Os principais custos operacionais incluem manutenção (R\$ 24.000) e custos administrativos (R\$ 30.000). Além disso, a substituição de inversores é prevista, com um custo anualizado de R\$ 5.000, já que os inversores necessitam de reposição a cada 7-10 anos. A taxa de demanda da rede (R\$ 51.000) e o seguro (R\$ 20.000) completam o quadro de despesas

anuais. Este quadro demonstra os custos recorrentes para manter a operação ao longo da vida útil do projeto.

Quadro 2 – Despesas anuais da energia fotovoltaica

Despesas Anuais	Valore (R\$)
Manutenção	24.000
Substituição de Inversores	5.000
Seguro	20.000
Custo Administrativos	30.000
Taxa de Conexão	51.000
Total	130.000

Fonte: Annel (2024); BNDES (2024) e EPE (2024).

O quadro 3 apresenta a receita anual do projeto, com geração estimada em 1.752 MWh, considerando um fator de capacidade médio de 20%. O preço de venda da energia, baseado no Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) de R\$ 156,00/MWh, valor atualmente pago quando se comercializa a geração através do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), resulta em uma receita bruta de R\$ 273.312 por ano. Este valor representa a capacidade de geração de receita do projeto sob condições típicas de operação e preços de mercado atuais, servindo de base para a análise financeira subsequente.

Quadro 3 – Receita anuais da energia fotovoltaica

Receita Anual	
Geração Anual	1.752 MWh
Preço de Liquidação da Diferenças (PLD)	R\$ 156,00 Mw/h
Valor	R\$ 273.312

Fonte: Annel (2024); BNDES (2024) e EPE (2024).

O quadro 4 mostra o fluxo de caixa projetado para o projeto de energia fotovoltaica ao longo de 30 anos, refletindo o investimento inicial de R\$ 2.600.000 no ano zero, seguido por receitas anuais constantes de R\$ 273.312. Este fluxo de caixa ilustra a geração de caixa estável após o período inicial de investimento, sustentando a análise de viabilidade econômica. A receita anual é considerada constante ao longo do período, ajustando-se apenas por variações de custo e manutenção.

Quadro 4 – Fluxo de caixa da energia fotovoltaica

Período	Fluxo de Caixa (R\$)
0	-2.600.000
1	273.312
2	273.312
3	273.312
4	273.312
5	273.312
...	...
30	273.312

Fonte: Annel (2024); BNDES (2024) e EPE (2024).

O quadro 5 traz os indicadores de viabilidade econômica do projeto, com destaque para a Taxa Interna de Retorno (TIR) de 9,89%, superior à Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP) de 6,91%. O Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 822.429,49 indica que o projeto é viável e gera valor ao longo do tempo. O payback estimado em 9,51 anos demonstra o tempo necessário para recuperar o investimento inicial.

Quadro 5 – Indicadores de viabilidade da energia fotovoltaica

Indicadores de Viabilidade	Valores
Taxa de Desconto (TJLP)	6,91%
VPL	822.429,49
TIR	9,89%
Payback	9,51 anos

Fonte: Elaboração própria

Esses resultados sugerem que o projeto de energia fotovoltaica é financeiramente atrativo, com capacidade de gerar retornos positivos e retorno moderado sobre o capital investido ao longo de sua vida útil.

2.4.2 Viabilidade de Energia Hidrelétrica

O quadro 6 apresenta o investimento inicial necessário para a implementação de um projeto de energia hidrelétrica com capacidade instalada de 1 MW. O valor total do investimento é de R\$ 8.000.000, com os maiores custos concentrados na construção da barragem e infraestrutura hidráulica (R\$ 3.000.000), turbinas e geradores (R\$ 2.000.000) e na linha de transmissão e subestação (R\$ 1.000.000). Esses valores refletem a alta complexidade e o caráter intensivo de capital deste tipo de projeto, especialmente considerando as obras civis e as exigências de engenharia para garantir o funcionamento adequado da usina.

Quadro 6 – Investimento Inicial da Energia Hidrelétrica

Investimento Inicial	Valore (R\$)
Construção da Barragem e Infraestrutura Hidráulica	3.000.000
Turbinas e Geradores	2.000.000
Equipamentos de Controle	500.000
Linha de Transmissão e Subestação	1.000.000
Aquisição do Terreno	500.000
Licenças e Estudos Ambientais	300.000
Obras Cíveis de Engenharia	700.000
Total	8.000.000

Fonte: Annel (2024); BNDES (2024) e ANEEL (2024).

O quadro 7 detalha as despesas anuais associadas à operação de uma usina hidrelétrica, totalizando R\$ 500.000 por ano. As despesas mais significativas incluem a manutenção dos equipamentos (R\$ 200.000) e os custos com pessoal (R\$ 150.000), o que demonstra a necessidade de suporte contínuo para garantir a operação e segurança da planta. Outros custos anuais incluem licenças e regulamentos (R\$ 50.000), seguro (R\$ 50.000), gerenciamento do reservatório (R\$ 30.000), além das despesas administrativas (R\$ 20.000). Essas despesas refletem a complexidade operacional da hidrelétrica, exigindo manutenção constante e custos associados ao monitoramento e regulamentação.

Quadro 7 – Despesas anuais da Energia Hidrelétrica

Despesas Anuais	Valore (R\$)
Manutenção de Equipamentos	200.000
Custo com pessoal	150.000
Licenças e Regulamentações	50.000
Seguro	50.000
Gerenciamento de Reservatório	300.00
Despesas Administrativas	20.000
Total	500.000

Fonte: Annel (2024); BNDES (2024) e ANEEL (2024).

O quadro 8 mostra as receitas anuais estimadas para a energia hidrelétrica, com uma geração de 4.380 MWh por ano, resultando em uma receita de R\$ 683.280, considerando um o mesmo Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) de R\$ 156,00/MWh, valor atualmente pago no Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). O valor da receita anual é significativamente maior em comparação à energia fotovoltaica, refletindo o maior fator de

capacidade das hidrelétricas e a sua capacidade de gerar energia de forma mais consistente ao longo do ano.

Quadro 8 – Receitas anuais da Energia Hidrelétrica

Receita Anual	
Geração Anual	4.380 MWh
Preço de Liquidação da Diferenças (PLD)	R\$ 156,00 Mw/h
Valor	R\$ 683.280

Fonte: Annel (2024); BNDES (2024) e ANEEL (2024).

O quadro 9 ilustra o fluxo de caixa do projeto hidrelétrico ao longo de 30 anos, apresentando um investimento inicial de R\$ 8.000.000 no ano zero, seguido por receitas anuais constantes de R\$ 683.280. A estabilidade das receitas anuais é uma característica dos projetos hidrelétricos, que geralmente oferecem um fluxo de caixa mais previsível e consistente após a fase de construção e início da operação. Esta consistência é um dos fatores que contribuem para a viabilidade econômica de longo prazo desse tipo de geração de energia.

Quadro 9 – Fluxo de caixa da energia Hidrelétrica

Período	Fluxo de Caixa (R\$)
0	-8.000.000
1	683.280
2	683.280
3	683.280
4	683.280
5	683.280
...	...
30	683.280

Fonte: Elaboração própria

O quadro 10 apresenta os principais indicadores de viabilidade econômica do projeto hidrelétrico. A Taxa Interna de Retorno (TIR) é de 7,59%, acima da Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP) de 6,91%, indicando que o projeto é rentável, embora menos atrativo que o projeto fotovoltaico em termos de retorno percentual.

Quadro 10 – Indicadores de viabilidade da energia Hidrelétrica

Indicadores de Viabilidade	Valores
Taxa de Desconto (TJLP)	6,91%
VPL	556.073,73
TIR	7,59%
Payback	11,70 anos

Fonte: Elaboração própria

O Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 556.073,73 indica um ganho financeiro positivo ao longo do tempo, confirmando a viabilidade econômica do projeto. O payback é de 11,70 anos, refletindo o tempo necessário para a recuperação do investimento inicial.

2.4.3 Análise Comparativa

A escolha entre diferentes fontes de energia renovável exige uma análise cuidadosa de suas características, custos e benefícios. A energia fotovoltaica e a hidrelétrica são duas opções amplamente utilizadas no Brasil, cada uma com vantagens e limitações distintas.

Quadro 11 – Análise Comparativa – Vantagens e Desvantagens

Aspecto	Energia Fotovoltaica	Energia Hidrelétrica
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> - Menor investimento inicial - Menor custo operacional anual - Retorno mais rápido - TIR mais alta - Fonte limpa e renovável com baixos impactos ambientais durante a operação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Maior capacidade de geração (4.380 MWh/ano contra 1.752 MWh/ano da fotovoltaica). - Estabilidade na receita e geração de energia. - Vida útil longa, com geração consistente ao longo do tempo. - Fonte renovável com capacidade de atender grandes demandas.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> - Geração intermitente, dependente da luz solar. - Necessidade de sistemas de armazenamento (baterias) ou complementação por outras fontes. - Investimento inicial ainda considerado alto para muitos. - Impactos climáticos podem reduzir a eficiência. 	<ul style="list-style-type: none"> - Maior investimento inicial - Maior custo operacional anual - Impactos ambientais significativos na construção (inundação de áreas, deslocamento de comunidades). - Longo prazo para retorno

A análise comparativa entre os projetos de energia fotovoltaica e hidrelétrica revela características distintas de viabilidade econômica e financeira.

A energia fotovoltaica exige um investimento inicial significativamente menor (R\$ 2.600.000) em relação à hidrelétrica (R\$ 8.000.000), resultando em um retorno mais rápido, com payback de 9,51 anos, contra 11,70 anos da hidrelétrica. Além disso, as despesas anuais da fotovoltaica são mais baixas (R\$ 130.000) comparadas às da hidrelétrica (R\$ 500.000), reforçando sua vantagem em termos de custos operacionais e manutenção.

Embora a receita anual da hidrelétrica (R\$ 683.280) seja mais que o dobro da receita da fotovoltaica (R\$ 273.312), o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) são mais favoráveis para a fotovoltaica, com um VPL de R\$ 822.429,49 e uma TIR de 9,89%, em contraste com o VPL de R\$ 556.073,73 e a TIR de 7,59% da hidrelétrica. Esses indicadores sugerem que, apesar da capacidade de geração mais alta e consistente da hidrelétrica, o projeto fotovoltaico é mais atrativo em termos de retorno percentual e geração de valor econômico ao longo do tempo.

Quadro 12 – Análise Comparativa - Econômica

Aspecto	Energia Fotovoltaica	Energia Hidrelétrica
Investimento Inicial (R\$)	R\$ 2.600.000	R\$ 8.000.000
Payback (anos)	9,51	11,70
Despesas Anuais (R\$)	130.000	500.000
Receita Anual (R\$)	273.312	683.280
Valor Líquido Presente VPL (R\$)	822.429,49	556.073,73
Taxa Interna de Retorno TIR (%)	9,89	7,59

Dessa forma, a energia fotovoltaica se mostra mais vantajosa para investidores que buscam um retorno mais rápido e menor risco de capital, enquanto a hidrelétrica, apesar de mais capital intensiva e com retorno mais prolongado, oferece maior capacidade de geração e estabilidade de receita, tornando-se uma opção mais indicada para investimentos de longo prazo. Ambos os projetos são viáveis, mas com perfis de risco, retorno e capital distintos.

3. CONCLUSÃO

A conclusão deste estudo aponta que, embora ambas as fontes de energia – fotovoltaica e hidrelétrica – sejam viáveis economicamente, apresentam perfis de investimento e retorno distintos. A energia fotovoltaica destaca-se pela menor exigência de capital inicial, menor custo operacional anual e um retorno financeiro mais rápido, sendo ideal para investidores que buscam resultados a médio prazo com menores riscos. Em contrapartida, a energia hidrelétrica, apesar de demandar um investimento significativamente maior e possuir um período de payback mais longo, oferece maior capacidade de geração de energia e um fluxo de caixa mais estável ao longo do tempo, o que a torna mais atrativa para projetos de longo prazo e para aqueles que buscam estabilidade e uma geração contínua de receita.

Em termos de rentabilidade, o projeto fotovoltaico apresenta melhores indicadores, com uma TIR de 9,89% e um VPL superior, sugerindo que, mesmo com menor capacidade de geração, é capaz de gerar maior valor ao longo do tempo. Já a hidrelétrica, apesar de sua maior capacidade de geração e receita anual, apresenta uma TIR mais baixa de 7,59%, ainda acima da taxa de desconto, confirmando sua viabilidade, mas com menor atratividade financeira.

Portanto, a decisão entre investir em energia fotovoltaica ou hidrelétrica deve ser orientada pelos objetivos do investidor, o horizonte de retorno esperado e a disposição para lidar com diferentes perfis de risco e capital. A energia fotovoltaica, com menor capital intensivo e rápido retorno, é ideal para investimentos com foco em retorno ágil e menor exposição ao risco, enquanto a hidrelétrica, com maior investimento e maior geração de energia, oferece maior estabilidade e é indicada para investidores com visão de longo prazo.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. *Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica*. Disponível em: <https://absolar.org.br/>. Acesso em: 10 out. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Caderno de Preços da Geração*. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/caderno-de-precos-da-geracao>. Acesso em: 29 out. 2024.

ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. 3. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2020.

ANEEL. *Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012*. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Brasília: ANEEL, 2012.

ARTAXO, Paulo. Mudanças climáticas: caminhos para o Brasil: a construção de uma sociedade minimamente sustentável requer esforços da sociedade com colaboração entre a ciência e os formuladores de políticas públicas. *Ciência e Cultura*, v. 74, n. 4, p. 01-14, 2022.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. *Investimentos em PCHs e CGHs no Brasil somam R\$ 7,9 bilhões em cinco anos*. Brasília, 2024. Disponível em: <https://abrapch.org.br/2023/01/investimentos-em-pchs-e-cghs-no-brasil-somam-r-79-bilhoes-em-cinco-anos/>. Acesso em: 29 out. 2024.

BORDEAUX-REGO, R. *Viabilidade econômico-financeira de projetos*. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2015.

CECCONELLO, Antonio R.; AJZENTAL, Alberto. *A construção do plano de negócio*. São Paulo: Saraiva, 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Balanco Energético Nacional 2024: Relatório Síntese*. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/balanco-energetico-nacional/ben-2024/relatorio-sintese/ben_sintese_2024_pt.pdf. Acesso em: 29 out. 2024.

EPE. *Balanco Energético Nacional 2021: Ano base 2020*. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2021.

FEARNSIDE, Philip Martin. *Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras-Volume 2*. Editora INPA, 2015.

GIANELLONI, Francesco Tommaso; CÂMARA, Lorrane da Silva Costa. Desafios da Difusão de Fontes de Geração Não Controláveis no Brasil. *X CBPE, Rio de Janeiro, Brasil*, 2016.

HOJI, Masakazu. *Administração financeira e orçamentária*. São Paulo: Atlas, 2010.
KARPINSKI, Cezar. Hidrelétricas e legislação ambiental brasileira nas décadas de 1980-90. *PerCursos*, v. 9, n. 2, p. 71-84, 2008.

MACHADO, Carolina T.; MIRANDA, Fabio S. Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2015.

OLIVEIRA, Ana Carolina et al. **Energia Solar: Utilização, Desafios E Potencialidades**. 2022.

PEQUENO, Danilo et al. **Geração distribuída de energia solar fotovoltaica no Estado da Paraíba: estudo da eficiência energética de projetos em operação**. 2018.

PEREIRA, Naron Xavier. **Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil: geração distribuída vs geração centralizada**. 2019.

PETROLI, Pedro Amado. **Avaliação da periculosidade de resíduos de módulos fotovoltaicos**. 2023.

SOBRINHO, José Antunes. Desafios à expansão da matriz energética. **Revista Conjuntura Econômica**, v. 62, n. 12, p. 41-42, 2008.

VIAN, Ângelo et al. **Energia Eólica: Fundamentos Tecnologia e Aplicações**. Editora Blucher, 2021.