

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FACULDADE DE GESTÃO DE NEGÓCIOS

KAREN EDUARDA ALVES DIAS DE MIRANDA

**INVESTIMENTO EM ENERGIA FOTOVOLTAICA NO MEIO RURAL: UMA
ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA COM OS MÉTODOS TRADICIONAIS E A
TEORIA DE OPÇÕES REAIS**

**Uberlândia
2026**

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho representa a conclusão de uma etapa muito importante da minha trajetória acadêmica e pessoal. Ao longo desse processo, contei com o apoio, incentivo e colaboração de diversas pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para que este momento se tornasse possível.

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela oportunidade de chegar até aqui, pela saúde e força nos momentos de dificuldade e pela capacidade de persistir diante dos desafios.

Aos meus pais, irmãos e familiares, pelo apoio incondicional, pelo incentivo constante aos estudos e por sempre acreditarem em mim, mesmo nos momentos mais difíceis.

À minha orientadora, Milena de Cássia Rocha, pela orientação, paciência e pelas contribuições ao longo do desenvolvimento deste trabalho, que foram fundamentais para a construção e aprimoramento desta pesquisa.

Aos professores do curso de Administração da Universidade Federal de Uberlândia, pelos ensinamentos, pelas experiências compartilhadas e pela contribuição para a minha formação acadêmica e profissional.

Aos colegas e amigos que estiveram presentes durante essa jornada, oferecendo apoio, incentivo e momentos de descontração que tornaram essa caminhada mais leve.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e para a minha formação ao longo desses anos.

“O que a vida quer da gente é coragem.”

João Guimarães Rosa

RESUMO

A crescente demanda por energia elétrica, aliada à necessidade de diversificação da matriz energética e à busca por fontes alternativas, tem impulsionado o uso da energia fotovoltaica no meio rural. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a viabilidade econômico-financeira da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica em uma propriedade rural produtora de leite, utilizando conjuntamente os métodos tradicionais de avaliação de investimentos e a abordagem da Teoria das Opções Reais, por meio do VPL expandido. Para isso, são utilizados métodos tradicionais de avaliação de investimentos, como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback, combinados com a abordagem da Teoria de Opções Reais, que permite incorporar flexibilidade gerencial e incertezas associadas ao projeto. A metodologia baseia-se em análise quantitativa aplicada a um estudo de caso, utilizando dados de consumo energético, custos de implantação e parâmetros financeiros relevantes. Os resultados indicam que o investimento em energia fotovoltaica apresenta potencial de viabilidade econômica no contexto rural analisado, especialmente quando consideradas as possibilidades de expansão futura e a redução de custos operacionais ao longo do tempo. A utilização da Teoria de Opções Reais amplia a compreensão sobre o valor estratégico do investimento, evidenciando benefícios adicionais que não são capturados pelos métodos tradicionais de avaliação. Conclui-se que a adoção de sistemas fotovoltaicos pode representar uma alternativa eficiente para redução de custos energéticos e aumento da eficiência econômica no meio rural.

Palavras-chaves: Energia fotovoltaica; Avaliação de investimentos; Teoria de opções reais.

ABSTRACT

The growing demand for electricity, combined with the need to diversify the energy matrix and the search for alternative sources, has driven the adoption of photovoltaic energy in rural areas. In this context, this study aims to analyze the economic and financial feasibility of implementing a solar photovoltaic system in a dairy-producing rural property, using both traditional investment evaluation methods and the Real Options Theory approach through the expanded Net Present Value (NPV). To achieve this, traditional investment appraisal methods, such as Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Payback, are applied, combined with the Real Options Theory approach, which allows for the incorporation of managerial flexibility and project-related uncertainties. The methodology is based on a quantitative analysis applied to a case study, using data on energy consumption, implementation costs, and relevant financial parameters. The results indicate that investment in photovoltaic energy shows strong potential for economic feasibility in the analyzed rural context, especially when considering future expansion opportunities and the reduction of operational costs over time. The use of Real Options Theory enhances the understanding of the strategic value of the investment, highlighting additional benefits not captured by traditional evaluation methods. It is concluded that the adoption of photovoltaic systems can represent an efficient alternative for reducing energy costs and improving economic efficiency in rural areas.

Keywords: Photovoltaic energy; Investment evaluation; Real options theory; Energy sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução do consumo total de energia elétrica da propriedade (kWh)-----27

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Variáveis e suas fontes-----	21
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

kWh – Quilowatt-hora

kWp – Quilowatt-pico

OLS – Mínimos Quadrados Ordinários

TIR – Taxa Interna de Retorno

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Energia solar fotovoltaica	11
2.2 Análise econômico-financeira de investimentos	13
2.2.1 Teoria das Opções Reais	16
4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	23
4.1 Caracterização da Propriedade Rural	23
4.2 Análise de consumo, custo e retorno do investimento	24
4.3 Análise do Investimento por Métodos Tradicionais e por Opção Real	27
4.4 A Opção de Expansão e o Desempenho Financeiro Consolidado	31
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS	36
ANEXO 1 - RESUMO DA SAÍDA DO PYTHON	39
ANEXO 2 - TABELA DE DADOS HISTÓRICOS	40
ANEXO 3 - FLUXOS DE CAIXA OPERACIONAIS E SAÍDAS DA AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTO	44
ANEXO 4 – ROTEIRO DA ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA COM O GESTOR.....	47

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da demanda por energia elétrica, aliado à necessidade de redução de custos operacionais e aumento da eficiência no uso de recursos energéticos, tem impulsionado a busca por fontes alternativas de geração. Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica tem se destacado como uma das principais alternativas disponíveis, uma vez que possibilita a geração de eletricidade a partir da radiação solar de forma descentralizada. Nos últimos anos, avanços tecnológicos e a redução dos custos dos equipamentos contribuíram significativamente para a expansão dessa tecnologia em diversos setores da economia.

No Brasil, a disseminação da energia solar fotovoltaica foi intensificada após a regulamentação da micro e minigeração distribuída estabelecida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por meio da Resolução Normativa nº 482/2012. Essa regulamentação possibilitou que consumidores passassem a produzir sua própria energia elétrica e compensar o excedente gerado na rede da concessionária, criando um ambiente favorável para a adoção de sistemas fotovoltaicos tanto em áreas urbanas quanto no meio rural.

No setor agropecuário, o consumo de energia elétrica representa um componente relevante na estrutura de custos de diversas atividades produtivas. Na pecuária leiteira, por exemplo, sistemas de ventilação, ordenha mecanizada, resfriamento do leite e bombeamento de água demandam fornecimento contínuo de energia elétrica. Estudos indicam que a energia elétrica pode representar entre 10% e 30% dos custos operacionais em propriedades leiteiras, especialmente em sistemas mais mecanizados (EPAGRI, 2021). Nesse cenário, oscilações tarifárias e aumentos no custo da energia podem impactar diretamente a rentabilidade das propriedades rurais, tornando relevante a busca por soluções que permitam reduzir custos operacionais e aumentar a autonomia energética das propriedades.

Diante desse contexto, a adoção de sistemas de energia solar fotovoltaica tem se apresentado como uma alternativa estratégica para produtores rurais, pois possibilita a redução da dependência da rede elétrica convencional e contribui para maior eficiência econômica das atividades produtivas. Entretanto, a decisão de investimento em sistemas fotovoltaicos envolve a realização de análises econômico-financeiras que permitam avaliar adequadamente os custos, os retornos esperados e as incertezas associadas ao projeto.

Tradicionalmente, a avaliação de investimentos é realizada por meio de métodos financeiros como o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o período de Payback. Embora amplamente utilizados, esses métodos apresentam limitações quando aplicados a projetos caracterizados por incertezas e flexibilidade, uma vez que consideram os fluxos de caixa de forma relativamente estática. Apesar do crescimento da literatura voltada à análise da viabilidade econômica de sistemas de energia solar fotovoltaica, observa-se que muitos estudos ainda se concentram na aplicação desses métodos tradicionais, sem incorporar abordagens que considerem de forma mais ampla as incertezas e a flexibilidade gerencial associadas aos projetos.

Nesse contexto, a Teoria das Opções Reais surge como uma abordagem complementar à análise tradicional de investimentos, permitindo incorporar à avaliação financeira o valor econômico associado à flexibilidade gerencial. Essa abordagem considera que decisões estratégicas podem ser tomadas ao longo do tempo, possibilitando que investidores ajustem seus projetos conforme novas informações sobre o desempenho do investimento e as condições de mercado se tornam disponíveis. A incorporação dessa flexibilidade pode ser realizada por meio de diferentes métodos, como modelos diferenciais, modelo binomial e o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) expandido. No presente estudo, optou-se pela utilização do VPL expandido como forma de incorporar, de maneira aplicada, o valor associado a decisões futuras, como a expansão do sistema fotovoltaico.

Diante desse cenário, torna-se relevante compreender de que forma a implantação de sistemas de energia solar fotovoltaica pode impactar economicamente propriedades rurais com elevado consumo energético. Assim, o presente estudo busca responder à seguinte pergunta de pesquisa:

Como a aplicação conjunta dos métodos tradicionais de avaliação de investimentos e da Teoria das Opções Reais, por meio do VPL expandido, pode contribuir para a análise da viabilidade econômico-financeira da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica em uma propriedade rural produtora de leite?

Tendo como objetivo geral analisar a viabilidade econômico-financeira da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica em uma propriedade rural produtora de leite, utilizando conjuntamente os métodos tradicionais de avaliação de investimentos e a abordagem da Teoria das Opções Reais, por meio do VPL expandido.

Para alcançar o objetivo geral proposto, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

Analisar o comportamento histórico do consumo de energia elétrica da propriedade rural, estimando sua tendência temporal e padrões sazonais por meio do modelo de regressão linear pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (OLS); e avaliar a viabilidade econômico-financeira da implantação do sistema fotovoltaico utilizando métodos tradicionais de análise de investimentos, como VPL, TIR e Payback descontado, em conjunto com a abordagem da Teoria das Opções Reais, por meio do VPL expandido associado à possibilidade de expansão.

Dessa forma, espera-se que os resultados deste estudo contribuam para ampliar a compreensão sobre a viabilidade econômico-financeira de investimentos em sistemas de energia solar fotovoltaica no contexto da produção leiteira, oferecendo evidências empíricas que auxiliem produtores rurais e gestores na tomada de decisão relacionada à adoção de sistemas de geração própria de energia como estratégia de redução de custos e aumento da eficiência econômica. Além disso, ao integrar métodos tradicionais de avaliação de investimentos com a abordagem da Teoria das Opções Reais para análise de incertezas, o estudo busca contribuir para o avanço das análises econômicas aplicadas a projetos de geração distribuída de energia no meio rural, proporcionando uma avaliação mais abrangente e realista do valor econômico associado a esse tipo de investimento.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica consiste na conversão direta da radiação solar em energia elétrica, por meio de células fotovoltaicas, geralmente compostas por materiais semicondutores como o silício (CRESESB, 2023). Esse processo ocorre quando a luz solar incide sobre as células, gerando uma corrente elétrica contínua que posteriormente pode ser convertida em corrente alternada para utilização em equipamentos e sistemas elétricos.

Desde os anos 2000, com intensificação na década de 2010, a energia solar tem apresentado crescimento significativo no cenário energético mundial. Esse avanço tem sido

impulsionado principalmente pela redução dos custos dos equipamentos, pelo desenvolvimento tecnológico e pela ampliação de políticas públicas de incentivo às fontes renováveis de energia (IEA, 2022). Nesse contexto, os sistemas fotovoltaicos tornaram-se uma alternativa cada vez mais acessível tanto para consumidores urbanos quanto para produtores rurais.

No Brasil, a expansão da geração fotovoltaica ganhou maior impulso após a regulamentação do micro e minigeração distribuída pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A Resolução Normativa nº 482/2012 estabeleceu as diretrizes para conexão de pequenos geradores à rede elétrica, permitindo que consumidores produzam sua própria energia e utilizem o sistema de compensação energética.

Esse ambiente regulatório contribuiu significativamente para a disseminação da geração distribuída no país, especialmente em setores que apresentam elevado consumo energético, como o agronegócio. A possibilidade de produzir energia no próprio local de consumo, reduzir custos operacionais e aumentar a autonomia energética tornou a energia solar uma alternativa estratégica para diversos produtores rurais.

No contexto do setor agropecuário, a geração fotovoltaica apresenta benefícios econômicos e operacionais. O setor agropecuário possui elevada demanda energética, principalmente em atividades que dependem de equipamentos elétricos para funcionamento contínuo, como sistemas de irrigação, ventilação, ordenha mecanizada e refrigeração de produtos (BOTACIN, 2022).

Na pecuária leiteira, por exemplo, o consumo de energia elétrica é um fator relevante na estrutura de custos da produção. Equipamentos utilizados na ordenha mecânica, resfriadores de leite, ventiladores e bombas hidráulicas operam diariamente e demandam fornecimento constante de energia elétrica. Dessa forma, oscilações tarifárias podem impactar diretamente a rentabilidade da atividade.

Estudos recentes confirmam esse potencial de aplicação da energia solar no meio rural. Ao analisar doze fazendas leiteiras brasileiras, Steidle Neto, Lopes e Nascimento (2022) identificaram que grande parte do consumo elétrico está associada às atividades de ordenha e refrigeração do leite. Os autores observaram que sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (on-grid) apresentam elevada compatibilidade com esse perfil de consumo, promovendo reduções significativas na fatura de energia.

De forma semelhante, um estudo técnico-econômico realizado em uma propriedade com sistema fotovoltaico de 216 kWp (quilowatt-pico) demonstrou que o custo nivelado de energia (LCOE) apresentou valores competitivos e que o investimento gerou Valor Presente Líquido positivo ao longo da vida útil do sistema, reforçando a viabilidade econômica da tecnologia em propriedades leiteiras (CAGLAYAN, 2023).

A Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI, 2021) demonstrou que a adoção da energia solar em propriedades leiteiras resultou em aumento da rentabilidade devido à significativa redução das despesas com energia elétrica. Os resultados indicam que o investimento se torna especialmente atrativo em propriedades com elevado consumo energético.

O portal técnico MilkPoint (2020) também aponta que a energia solar pode reduzir entre 60% e 95% os custos energéticos da produção leiteira, dependendo do dimensionamento do sistema e do perfil de consumo da propriedade. De acordo com a publicação, a energia fotovoltaica tem se consolidado como um dos investimentos mais estratégicos para produtores que buscam aumentar a eficiência produtiva e reduzir custos operacionais. Outros estudos corroboram essa perspectiva. Bassotto et al. (2022), ao analisarem uma propriedade leiteira em Minas Gerais, identificaram que a implantação de uma miniusina solar apresentou Valor Presente Líquido positivo e período de retorno inferior à vida útil do sistema, confirmando a viabilidade financeira do investimento. Resultados semelhantes foram encontrados por Vargas, Martinazzo e Zanin (2019), que analisaram a gestão energética de uma propriedade leiteira no Oeste de Santa Catarina. Os autores concluíram que a implantação de um sistema fotovoltaico promove expressiva redução dos custos operacionais e reduz a dependência das concessionárias de energia elétrica, fortalecendo o desempenho econômico da produção.

Dessa forma, observa-se que a energia solar fotovoltaica vem se consolidando como uma alternativa relevante para propriedades rurais, especialmente na pecuária leiteira, contribuindo para redução de custos, aumento da eficiência produtiva e maior autonomia energética das propriedades.

2.2 Análise econômico-financeira de investimentos

Considerando a relevância do aspecto financeiro na implantação de sistemas de energia fotovoltaica no meio rural, esta seção aborda os principais elementos relacionados à avaliação econômica. Nesse contexto, a análise econômico-financeira de projetos de investimento constitui uma ferramenta fundamental para apoiar a tomada de decisão empresarial, permitindo avaliar a viabilidade e os retornos esperados do capital aplicado. Entre os principais métodos utilizados nesse tipo de análise destacam-se o Valor Presente Líquido (VPL), o Payback Efetivo e Taxa Interna de Retorno (TIR), amplamente empregados para mensurar a rentabilidade e o tempo de recuperação do investimento.

O Valor Presente Líquido (VPL) consiste na soma dos fluxos de caixa futuros de um projeto, descontados por uma taxa mínima de atratividade, subtraindo-se o investimento inicial. Quando o VPL apresenta valor positivo, indica que o projeto gera retorno superior à taxa exigida pelo investidor, sendo considerado economicamente viável (ASSAF NETO, 2016).

Matematicamente ele é expresso pela Equação 1:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (1)$$

onde:

FC_t : representa o fluxo de caixa no período t

I : representa a taxa de desconto

t : corresponde ao período analisado

I_0 : representa o investimento inicial

O método do Payback por sua vez, indica o período necessário para recuperação do investimento inicial. Ele pode ser calculado de três formas distintas: Payback efetivo, médio e descontado (ASSAF NETO, 2016).

Matematicamente, o payback efetivo é expresso pela Equação 2, o payback médio é expresso pela Equação 3 e o payback descontado pela Equação 4:

Equação 2:

$$Payback = \frac{I_0}{FC} \quad (2)$$

Em que:

I_0 = investimento inicial

FC = fluxo de caixa médio por período

Equação 3:

$$Payback\ Médio = \frac{I_0}{FCm} \quad (3)$$

Em que:

I_0 = investimento inicial

FCm = fluxo de caixa médio no período

Equação 4:

$$Payback\ Descontado = \frac{I_0}{FCd} \quad (4)$$

Em que:

I_0 = investimento inicial

FCd = fluxo de caixa descontado no período

Outro indicador amplamente utilizado é a Taxa Interna de Retorno (TIR), definida como a taxa de desconto que torna o Valor Presente Líquido igual a zero. Esse indicador permite avaliar a rentabilidade percentual de um projeto, possibilitando comparações entre diferentes alternativas de investimento (ASSAF NETO, 2016).

Matematicamente ele é expresso pela Equação 5:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} - I_0 \quad (5)$$

TIR = taxa interna de retorno

FC_t = fluxo de caixa no período t

I_0 = investimento inicial

n = número de períodos

Apesar de amplamente utilizados, esses métodos apresentam limitações quando aplicados a projetos caracterizados por elevada incerteza ou flexibilidade gerencial. Conforme Damodaran (2012), a análise tradicional de investimentos considera fluxos de caixa relativamente estáticos, desconsiderando a possibilidade de adaptação estratégica ao longo do tempo.

No setor energético, essas limitações tornam-se particularmente relevantes, uma vez que projetos de geração de energia estão sujeitos a diversos fatores de incerteza, como mudanças regulatórias, variações tarifárias, avanços tecnológicos e alterações na demanda de consumo, elementos capazes de modificar significativamente o desempenho econômico do investimento ao longo do tempo. No contexto das propriedades rurais, tais incertezas podem ser ainda mais expressivas, pois o consumo de energia tende a variar conforme a expansão das atividades produtivas, a adoção de novas tecnologias ou mudanças no sistema de produção. Dessa forma, torna-se necessário utilizar abordagens de análise que permitam incorporar maior flexibilidade e considerar diferentes cenários na avaliação de investimentos.

2.2.1 Teoria das Opções Reais

Nesse cenário, a teoria das opções reais surge como uma abordagem complementar para avaliação de investimentos em ambientes de incerteza. Diferentemente dos métodos tradicionais, essa abordagem permite incorporar ao processo de análise a flexibilidade gerencial e o valor estratégico das decisões futuras.

Dixit e Pindyck (1994) destacam que a presença de incerteza e irreversibilidade nos investimentos torna o momento da decisão um elemento estratégico. Em determinadas situações, a possibilidade de postergar uma decisão de investimento pode gerar valor adicional ao projeto, permitindo que o investidor aguarde novas informações antes de comprometer recursos financeiros. Nesse sentido, a incerteza está diretamente associada à variabilidade dos cenários futuros e à impossibilidade de previsão perfeita dos resultados, sendo um elemento central na análise por opções reais, uma vez que é justamente ela que dá origem ao valor da flexibilidade gerencial.

Adicionalmente, a relação entre incerteza e flexibilidade é fundamental, pois quanto maior a incerteza, maior tende a ser o valor das opções disponíveis ao gestor. Isso ocorre porque

a possibilidade de adaptação das decisões ao longo do tempo permite capturar oportunidades e mitigar perdas, tornando o processo decisório mais eficiente em ambientes dinâmicos

Segundo Trigeorgis (1996), uma opção real pode ser definida como o direito, mas não a obrigação, de realizar determinadas ações em um projeto de investimento, como expandir, adiar, modificar ou abandonar um empreendimento, de acordo com as condições econômicas observadas ao longo do tempo. Dessa forma, a abordagem das opções reais incorpora à análise de investimentos a flexibilidade gerencial, reconhecendo que as decisões podem ser adaptadas conforme novas informações sobre o ambiente econômico e o desempenho do projeto se tornam disponíveis.

No âmbito conceitual, a Teoria das Opções Reais estabelece uma analogia direta com as opções financeiras, na qual o projeto de investimento corresponde ao ativo subjacente, enquanto o investimento necessário para sua implementação representa o preço de exercício. Assim, o valor do projeto depende não apenas dos fluxos de caixa esperados, mas também da possibilidade de exercer decisões estratégicas ao longo do tempo, de forma semelhante ao funcionamento de opções de compra no mercado financeiro.

Nesse contexto, o ativo subjacente pode ser entendido como o valor presente dos fluxos de caixa futuros do projeto, sujeito a incertezas relacionadas ao ambiente econômico. Já o exercício da opção ocorre quando o gestor decide implementar determinada ação estratégica, como expandir ou adiar o investimento, com base na comparação entre benefícios esperados e os custos necessários para sua execução.

Entre os principais tipos de opções reais, destaca-se a opção de adiar, que permite postergar o início de um investimento até que haja maior clareza sobre variáveis incertas, como demanda, preços ou custos; a opção de expansão, que possibilita ampliar a capacidade produtiva ou o escopo do projeto diante de cenários favoráveis; a opção de modificação, que consiste na capacidade de ajustar o projeto ao longo do tempo, por meio de mudanças em processos, tecnologias ou na forma de operação, buscando maior eficiência ou adaptação às condições de mercado; e a opção de abandono, que permite encerrar o projeto antes do prazo inicialmente previsto, possibilitando a recuperação de parte do capital investido quando sua continuidade deixa de ser economicamente viável.

Dessa forma, a Teoria das Opções Reais amplia a análise tradicional de investimentos ao considerar não apenas os fluxos de caixa esperados, mas também o valor estratégico associado à flexibilidade na tomada de decisões em ambientes de incerteza.

No que se refere à valoração das opções reais, destaca-se o modelo binomial como uma das principais ferramentas utilizadas. Esse modelo considera a evolução do valor do ativo subjacente ao longo do tempo por meio de movimentos discretos de alta e baixa, permitindo a construção de uma árvore de decisão que representa diferentes cenários possíveis. A partir dessa estrutura, o valor da opção é calculado de forma retroativa, incorporando as probabilidades associadas a cada cenário e os ganhos decorrentes das decisões estratégicas.

Além disso, a precificação das opções reais baseia-se na lógica de arbitragem e na equivalência com ativos financeiros, permitindo mensurar o valor econômico da flexibilidade gerencial. Assim, a valoração captura não apenas os resultados esperados do projeto, mas também o valor associado à possibilidade de adaptação ao longo do tempo.

A partir dessa valoração, torna-se possível incorporar o valor da flexibilidade ao valor total do projeto. Nesse sentido, o Valor Presente Líquido tradicional é ampliado, resultando no chamado Valor Presente Líquido Expandido (VPL Expandido), que representa uma forma mais abrangente de avaliação ao considerar tanto os fluxos de caixa quanto o valor das opções gerenciais.

Uma das formas de incorporar esse valor adicional na análise de investimentos é por meio do cálculo do VPL Expandido, conforme apresentado na Equação 6:

$$VPL_{expandido} = VPL_{projeto} + VP_{opção} \quad (6)$$

Em que o $VP_{opção}$ é dado pela Equação 7:

$$VP_{opção} = \frac{VPL_{exp}}{(1+i)^n} \quad (7)$$

No setor energético, a aplicação da teoria das opções reais tem se mostrado particularmente relevante, uma vez que projetos de geração de energia apresentam elevado grau

de incerteza relacionado a fatores regulatórios, tecnológicos e de mercado, o que torna a flexibilidade gerencial um elemento importante na avaliação do investimento.

A literatura recente confirma a aplicabilidade dessa abordagem em projetos de energia solar fotovoltaica. Penizzotto et al. (2019) demonstram que a incorporação de opções reais na avaliação de projetos fotovoltaicos pode aumentar significativamente o valor estimado do investimento, especialmente quando consideradas opções de expansão ou postergação diante de incertezas tarifárias.

Assim, a teoria das opções reais permite uma análise mais robusta de projetos energéticos, ao capturar o valor das oportunidades estratégicas associadas à geração distribuída. No contexto deste estudo, essa abordagem mostra-se particularmente adequada para a avaliação de investimentos em sistemas fotovoltaicos no meio rural, uma vez que esses projetos estão sujeitos a incertezas relevantes e apresentam potencial significativo de flexibilização ao longo do tempo.

Diante desse contexto, a energia solar fotovoltaica apresenta-se como uma alternativa economicamente viável para propriedades rurais com elevado consumo energético, especialmente na atividade leiteira. A avaliação desses investimentos, entretanto, não deve se limitar aos indicadores financeiros tradicionais, uma vez que projetos energéticos estão sujeitos a incertezas regulatórias, tecnológicas e de mercado. No presente estudo, destaca-se ainda a incerteza quanto ao crescimento futuro da demanda energética da propriedade, o que justifica a utilização da Teoria das Opções Reais, especialmente por meio da opção de expansão, permitindo incorporar a possibilidade de adaptação do sistema ao longo do tempo. Assim, a aplicação dessa abordagem permite capturar o valor da flexibilidade gerencial e das oportunidades futuras associadas à geração de energia, complementando a análise tradicional baseada no VPL. Dessa forma, o presente estudo propõe utilizar essa abordagem na análise de um caso real de investimento em sistema fotovoltaico em uma propriedade rural.

3. METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como descritivo quanto ao objetivo, pois busca analisar e descrever os impactos financeiros/econômicos decorrentes da adoção de um sistema de energia solar fotovoltaica em uma propriedade rural. Quanto à abordagem, a pesquisa apresenta natureza quantitativa, uma vez que utiliza dados numéricos e técnicas estatísticas para análise do consumo de energia e avaliação econômico-financeira do investimento.

A coleta de dados foi realizada por meio de entrevista semiestruturada com o proprietário e gestor da fazenda, permitindo compreender aspectos relacionados ao processo decisório do investimento, à implantação do sistema fotovoltaico, aos desafios enfrentados durante a implementação, à percepção dos resultados econômicos e às perspectivas futuras do investimento. O roteiro completo da entrevista semiestruturada encontra-se apresentado no Anexo 4, contendo as perguntas utilizadas na condução da coleta de dados.

Além das informações obtidas na entrevista, foram disponibilizados pelo proprietário documentos e registros financeiros da propriedade, especialmente contas de energia elétrica da concessionária CEMIG, que possibilitaram a obtenção de dados históricos de consumo energético e valores pagos antes e depois da instalação do sistema fotovoltaico.

A análise considerou o período de 24 meses anteriores à instalação do sistema (janeiro de 2018 a dezembro de 2019) utilizado como base para compreender o padrão de consumo e os custos energéticos da propriedade. Também foram considerados 62 meses após a implantação do sistema fotovoltaico (janeiro de 2020 a fevereiro de 2025), permitindo a comparação dos resultados e a identificação dos efeitos econômicos da adoção da tecnologia. Ressalta-se, entretanto, que a base de dados apresenta lacunas em determinados períodos, sendo observados dados reais para os intervalos de janeiro de 2018 a janeiro de 2019, março de 2020 a junho de 2022, dezembro de 2022 a agosto de 2023 e fevereiro de 2024 a fevereiro de 2025. Dessa forma, os meses não contemplados nesses intervalos foram tratados como ausentes e posteriormente estimados por meio de técnicas de modelagem.

Dentre os principais dados analisados têm-se: Consumo total da propriedade, potência instalada, consumo de energia fornecido pela concessionária, custo do kWh, valor pago a concessionária, custo total de toda energia consumida e ganho financeiro com a geração de

energia interna. Destaca-se para efeito de análise financeira, tendo como objetivo buscar melhor precisão, foi considerado nos cálculos apenas o valor do kWh.

Com base nos documentos aos quais se teve acesso, foram identificados registros de consumo de energia elétrica (kWh) e seus respectivos custos (kWh) para os seguintes períodos: janeiro de 2018 a maio de 2018, setembro de 2018 a janeiro de 2019, março de 2020 a junho de 2022, dezembro de 2022 a agosto de 2023 e fevereiro de 2024 a fevereiro de 2025. A partir dessas informações foi construída uma base de dados mensal contendo 62 observações de consumo.

Com o objetivo de analisar o comportamento temporal do consumo ao longo do período estudado, foi estimado um modelo de regressão linear utilizando o método dos Mínimos Quadrados Ordinários (OLS), cujos dados de saída podem ser consultados no Anexo 1. A especificação econométrica considera simultaneamente uma tendência temporal e efeitos sazonais mensais, permitindo capturar tanto o crescimento estrutural da série quanto suas variações periódicas ao longo do ano.

A forma funcional do modelo pode ser representada pela Equação 8:

$$Consumo_t = \beta_0 + \beta_1 t + \sum_{m=1}^{11} \gamma_m D_{m,t} + \varepsilon_t \quad (8)$$

Em que:

$Consumo_t$ = representa o nível de consumo observado no período t

β_0 = intercepto do modelo

β_1 = captura do consumo médio do crescimento ao longo do tempo

t = componente de tendência temporal definida como uma sequência crescente de períodos mensais

γ_m = representa o efeito sazonal associado a cada mês

$D_{m,t}$ = são variáveis *dummy* mensais que assumem valor igual a 1 quando a observação pertence ao mês m e 0 caso contrário

ε_t = termo de erro aleatório.

$\sum$ = somatório das *dummies* sazonais (m = 1 até 11)

Para evitar multicolinearidade perfeita entre as variáveis *dummy* mensais (conhecida como armadilha das *dummies*), um dos meses foi omitido da regressão e utilizado como

categoria de referência. Neste modelo, o mês de dezembro foi definido como base de comparação, de modo que os coeficientes estimados para os demais meses devem ser interpretados como variações relativas em relação a esse período.

No Quadro 1 são apresentados os dados e suas respectivas fontes:

Quadro 1: Variáveis e suas fontes

Variável	Fonte
Consumo Total da Propriedade	Documentos compartilhados
Potência Instalada	Documentos compartilhados
consumo de energia fornecido pela concessionária	Documentos compartilhados/Simulação
custo do kWh	Documentos compartilhados/Site da concessionária
valor pago a concessionária	Documentos compartilhados
custo total de toda energia consumido	Cálculo feito pelo pesquisador
ganho financeiro com a geração de energia interna	Cálculo feito pelo pesquisador

Fonte: Elaboração própria

Os dados coletados foram organizados em planilhas eletrônicas, nas quais foram estruturadas as variáveis necessárias para a análise econômico-financeira do investimento. A partir dessas informações foram estimados indicadores financeiros tradicionais de avaliação de projetos, como o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Período de Payback Descontado, o Valor da Opção de Expansão e o VPL Expandido.

Além disso, por meio do Python 3.14, foi estimado um modelo de regressão linear pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (OLS), com o objetivo de identificar a tendência temporal e os padrões sazonais do consumo energético da propriedade ao longo do período analisado. A escolha do modelo OLS justifica-se pela natureza dos dados, uma vez que o estudo busca analisar o comportamento do consumo de energia ao longo do tempo, considerando a ocorrência de um evento relevante, que é a implantação do sistema fotovoltaico.

Nesse contexto, a abordagem de séries temporais mostra-se adequada por permitir a identificação de tendências e padrões sazonais no consumo energético, possibilitando uma análise consistente da evolução da demanda ao longo dos períodos observados. Adicionalmente, mesmo diante da existência de lacunas na base de dados, o modelo OLS foi adotado por sua capacidade de estimar o comportamento médio da série a partir das informações

disponíveis, contribuindo para a reconstrução da trajetória do consumo energético ao longo do tempo.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Caracterização da Propriedade Rural

A propriedade analisada é uma fazenda, localizada na região Centro-Oeste de Minas Gerais, possuindo uma área de 70 hectares total e é voltada à produção leiteira. A unidade opera com capacidade média anual de aproximadamente 700 cabeças de gado no sistema *Compost Barn*, um modelo de confinamento avançado que garante maior conforto térmico e sanitário ao gado leiteiro. Esse tipo de instalação demanda elevado consumo energético, principalmente para climatização, ventilação, ordenha mecânica, resfriamento do leite e operação dos equipamentos de manejo diário. Com base nos registros históricos fornecidos pela concessionária CEMIG, o consumo médio mensal observado antes da implantação do sistema fotovoltaico foi de aproximadamente 6.759 kWh.

De acordo com o proprietário, o investimento em energia solar fotovoltaica surgiu da necessidade de reduzir custos com energia elétrica. O processo decisório envolveu o proprietário, seu sócio e uma empresa especializada em energia solar, responsável pelo dimensionamento e acompanhamento técnico do projeto.

O projeto de investimento inicial ocorreu em janeiro de 2020, no valor de R\$ 100.000,00, correspondente à instalação de um sistema com potência de 37,18 kWp (quilowatt-pico), que representa a capacidade máxima de geração do sistema em condições ideais. A energia efetivamente gerada, por sua vez, é mensurada em kWh e varia conforme o tempo de operação e as condições ambientais. No primeiro mês de funcionamento, o sistema apresentou uma disponibilização de aproximadamente 8.923 kWh¹, valor compatível com o dimensionamento realizado para suprir a demanda energética da propriedade. O sistema foi

¹ A potência instalada, expressa em quilowatt-pico (kWp), refere-se à capacidade máxima de geração do sistema em condições ideais. Já a energia elétrica gerada, medida em quilowatt-hora (kWh), corresponde à quantidade efetivamente produzida ao longo de um período, sendo influenciada por fatores como irradiação solar, tempo de exposição e eficiência do sistema.

estruturado no modelo on-grid, permanecendo conectado à rede concessionária e permitindo a compensação de energia elétrica sem a utilização de baterias.

Em 2025, em decorrência do crescimento da atividade produtiva e do aumento da demanda energética, a propriedade optou por exercer uma opção real de expansão do sistema fotovoltaico, tendo como custo de ampliação o valor R\$ 50.480,00 elevando sua capacidade instalada para 300 kWp de potência total, o que equivale em torno de 72.000 kWh, atingindo a capacidade máxima permitida pela concessionária nessa região. Ressalta-se que não há geração excedente de energia, uma vez que o aumento da produção leiteira foi acompanhado pelo aumento do consumo, absorvendo integralmente a energia produzida.

Durante a implantação, o principal desafio enfrentado esteve relacionado às adequações exigidas na rede distribuidora (CEMIG), especialmente quanto à substituição de transformador e aumento de carga junto à concessionária, o que demandou tratativas técnicas e prazo adicional para regularização.

Em 2025, a propriedade declarou que não é possível ampliar a capacidade instalada, pois já atingiu o limite permitido pela concessionária. Contudo, caso houvesse ampliação da capacidade da rede, haveria interesse em expandir, o que impossibilita qualquer possibilidade de exercício de uma nova opção de expansão por parte dos proprietários.

4.2 Análise de consumo, custo e retorno do investimento

Os resultados da regressão indicaram um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,722, sugerindo que aproximadamente 72,2% da variação observada no consumo é explicada pelo modelo. O coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) foi de 0,656, indicando que, mesmo após o ajuste pelo número de variáveis explicativas, o modelo mantém um nível satisfatório de capacidade explicativa. O erro padrão da regressão foi estimado em 4.377 unidades de consumo, valor que representa a magnitude média das diferenças entre os valores observados e os valores ajustados pelo modelo.

A Equação 9, estimada do modelo foi de:

$$\begin{aligned} Consumot = & 4509,58 + 263,44t - 2027,54D1,t + 585,27D2,t + 1095,58D3,t + \\ & 1785,13D4,t + 3679,53D5,t + 2732,75D6,t - 775,65D7,t - 3784,09D8,t + \\ & 3136,85D9,t + 1105,91D10,t + 520,47D11,t + \varepsilon t \end{aligned} \quad (9)$$

O coeficiente associado à tendência temporal (t) indica que o consumo apresenta crescimento médio de aproximadamente 263 unidades por mês ao longo do período analisado. Em termos anuais, esse resultado corresponde a um aumento aproximado de 3.160 unidades de consumo, evidenciando a presença de uma tendência estrutural positiva na série.

Além da tendência temporal, os resultados revelam a existência de padrões sazonais relevantes. Observa-se que determinados meses apresentam níveis sistematicamente superiores ao mês de referência (dezembro), destacando-se maio, junho e setembro, enquanto outros meses apresentam níveis inferiores, como agosto e janeiro. Esses resultados indicam que o comportamento do consumo é influenciado por fatores sazonais recorrentes ao longo do ano.

De maneira geral, os resultados sugerem que a dinâmica do consumo pode ser descrita como a combinação de dois componentes principais: uma tendência de crescimento ao longo do tempo e um padrão sazonal bem definido. O modelo estimado apresenta capacidade explicativa para uma série econômica mensal, fornecendo evidências empíricas de que tanto fatores estruturais quanto sazonais desempenham papel relevante na determinação do consumo observado.

Para avaliar a adequação econométrica do modelo estimado, foram realizados testes de diagnóstico relacionados à autocorrelação dos resíduos e à normalidade da distribuição dos erros.

A presença de autocorrelação serial foi verificada por meio do teste de Durbin–Watson, cujo valor estimado foi 1,719. Como valores próximos de 2 indicam ausência de autocorrelação, o resultado obtido sugere baixa evidência de autocorrelação serial nos resíduos, indicando que o modelo captura de forma satisfatória a dinâmica temporal da série analisada.

Adicionalmente, a normalidade dos resíduos foi analisada por meio do teste de Jarque–Bera, que apresentou valor igual a 4,623, com p-valor de 0,0991. Considerando um nível de significância de 5%, não se rejeita a hipótese nula de normalidade dos resíduos, uma vez que o

p-valor é superior a 0,05. Esse resultado indica que a distribuição dos resíduos é estatisticamente compatível com a normalidade.

Em conjunto, os testes de diagnóstico sugerem que as principais hipóteses do modelo de regressão linear são razoavelmente atendidas, reforçando a robustez das estimativas obtidas e a confiabilidade das inferências econométricas derivadas do modelo.

Para os meses em que os dados de consumo não estavam disponíveis, os valores foram imputados utilizando a previsão do modelo de regressão linear estimado, considerando tendência temporal e sazonalidade mensal. Esses valores foram utilizados na construção do painel para cálculo de custos e estimativa de economia.

Com base nas estimativas feitas de consumo se chegou em uma base de dados de consumo kWh que é pago diretamente à concessionária de energia. Considerando os valores do kWh e a potência instalada foi possível projetar o Consumo total da propriedade, o quanto seria o valor total pago sem a instalação e o ganho com economia advinda da potência instalada. Os dados completos podem ser encontrados no Anexo 2.

Como a primeira potência instalada foi em janeiro de 2020, e contou com aproximadamente a disponibilização de 8.923,2 kWh, a propriedade já iniciou com uma redução de custo de aproximadamente R\$ 7.834,57 no primeiro mês. Ao longo dos 60 primeiros meses de operação do sistema (2020–2024), a economia acumulada aproximada foi de R\$ 317.977,34, o que representa R\$ 5.299,62 de economia média mensal, evidenciando que a implantação do sistema fotovoltaico contribuiu de forma significativa para a redução dos custos operacionais da propriedade rural.

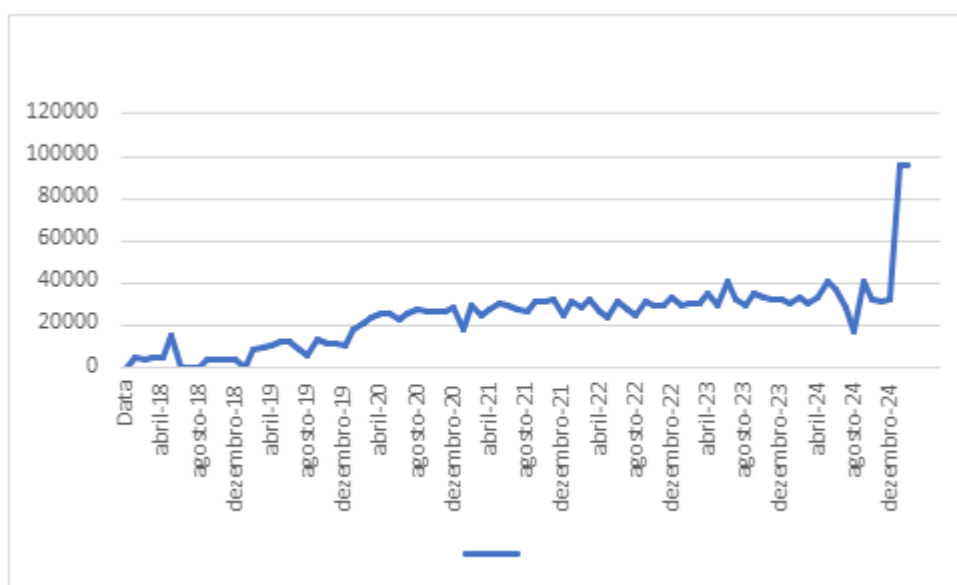
Do ponto de vista econômico-financeiro, esse resultado torna-se ainda mais expressivo quando comparado ao valor do investimento inicial realizado na implantação do sistema. O investimento inicial de R\$ 100.000,00, realizado em janeiro de 2020, mostrou-se relativamente modesto diante da economia acumulada gerada ao longo dos anos seguintes. Em termos práticos, isso indica que o sistema fotovoltaico rapidamente passou a gerar benefícios financeiros líquidos para a propriedade.

Outro aspecto relevante evidenciado pelos dados refere-se ao crescimento do consumo energético da propriedade ao longo do período analisado. Conforme indicado pelos resultados do modelo econométrico estimado, o consumo apresenta uma tendência positiva de crescimento

de aproximadamente 263,44 kWh por mês, o que corresponde a um aumento anual médio próximo de 3.160 kWh. Esse comportamento reflete a expansão gradual das atividades produtivas da propriedade, bem como o aumento da utilização de equipamentos elétricos associados ao sistema de produção leiteira intensiva adotado.

A Figura 1 apresenta a evolução do consumo total de energia elétrica da propriedade ao longo do período analisado.

Figura 1 – Evolução do consumo total de energia elétrica da propriedade (kWh)



Fonte: Elaboração Própria

A análise gráfica evidencia a presença de uma tendência crescente no consumo energético da propriedade ao longo dos anos, além de oscilações sazonais que já haviam sido identificadas no modelo econométrico estimado. Esse comportamento reforça a ideia de que o crescimento da atividade produtiva exerce influência direta sobre a demanda energética da propriedade, criando condições que favorecem economicamente investimentos adicionais em geração própria de energia.

4.3 Análise do Investimento por Métodos Tradicionais e por Opção Real

A avaliação do projeto foi realizada inicialmente por meio do cálculo dos métodos tradicionais: VPL, TIR e Payback.

O investimento inicial do projeto foi de R\$ 100.000,00, sendo os fluxos de caixa operacionais mensais estimados para o período de janeiro de 2020 a dezembro de 2024.

Considerando uma taxa mínima de atratividade de 12% ao ano, foi realizada a conversão para taxa mensal equivalente utilizando-se a Equação 10:

$$i_m = (1 + i_a)^{\frac{1}{12}} - 1 \quad (10)$$

Onde:

- i_m representa a taxa mensal equivalente;
- i_a corresponde à taxa anual.

Aplicando a equivalência de taxas, obteve-se uma taxa de aproximadamente 0,9489% ao mês.

Com base nos fluxos de caixa mensais descontados por essa taxa, o projeto apresentou um Valor Presente Líquido de R\$ 146.884,49, indicando que o investimento é economicamente viável, uma vez que o valor presente dos fluxos de caixa supera o investimento inicial.

Além do VPL positivo, a análise da TIR também reforça a atratividade econômica do investimento. A taxa estimada foi de 86% ao ano, correspondente a 5% ao mês, sendo superior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada de 12% ao ano, indicando que o projeto apresenta rentabilidade superior ao custo de oportunidade do capital. Esse resultado confirma que, mesmo considerando o custo do dinheiro no tempo, o investimento em geração própria de energia é financeiramente vantajoso para a propriedade.

Outro indicador importante refere-se ao período de recuperação do capital investido. A análise do Payback Descontado indicou que o investimento inicial é recuperado no 20º mês de operação do sistema, equivalente a dois anos e oito meses após a implantação. Esse resultado demonstra que o projeto apresenta um tempo de retorno relativamente curto quando comparado à vida útil esperada de sistemas fotovoltaicos, que normalmente ultrapassa 20 anos.

Entretanto, a análise baseada apenas nos métodos tradicionais apresenta uma limitação importante: ela assume que todas as decisões de investimento são tomadas de forma definitiva no momento inicial do projeto, desconsiderando a possibilidade de ajustes estratégicos ao longo

do tempo. Na prática, muitos projetos de investimento são caracterizados por um elevado grau de flexibilidade gerencial, permitindo que os gestores adaptem suas decisões conforme novas informações se tornam disponíveis.

Considerando a tendência de crescimento do consumo energético observada anteriormente na modelagem, a aplicação da Teoria das Opções Reais torna-se coerente. Ao incorporar a possibilidade de expansão futura do sistema fotovoltaico, o modelo passa a capturar o valor econômico associado à flexibilidade estratégica do investidor, permitindo que novas decisões de investimento sejam tomadas à medida que informações adicionais sobre o desempenho do projeto e sobre a evolução da demanda energética da propriedade se tornam disponíveis.

Além do projeto base, foi considerada a possibilidade de realização de um investimento adicional de expansão no início de janeiro de 2025. Essa expansão exigiria um investimento adicional de R\$ 50.480,00, gerando fluxos de caixa operacionais de R\$ 38.211,12 mensais, nos meses de janeiro e fevereiro de 2025.

Inicialmente, calculou-se o VPL da expansão quando a decisão poderia ser exercida (janeiro de 2025), conforme a Equação 11:

$$VLP_{exp} = -50.480 + \frac{38.211,12}{\left(1 + \frac{0,9489}{100}\right)} + \frac{38.211,12}{\left(1 + \frac{0,9489}{100}\right)^2} \quad (11)$$

A aplicação dessa fórmula resultou em um VPL da expansão de aproximadamente R\$ 24.860,00 no momento da decisão de investimento.

Contudo, como a decisão de expansão ocorre cinco anos após o início do projeto, foi necessário trazer esse valor para o período inicial da análise. Assim, o valor presente da opção de expansão foi calculado conforme a Equação 12:

$$VP_{opção} = \frac{24.860,00}{(1+0,9489)^{60}} \quad (12)$$

Onde 60 representa o número de meses entre janeiro de 2020 e janeiro de 2025.

Após o desconto temporal, o valor presente da opção de expansão foi estimado em R\$ 14.110,83.

A incorporação da flexibilidade gerencial proporcionada pela opção de expansão permite calcular o chamado VPL expandido, que incorpora o valor econômico da flexibilidade estratégica ao VPL tradicional do projeto. O cálculo foi realizado conforme a Equação 13:

$$VPL_{\text{expandido}} = 146.884,49 + 14.110,83 \quad (13)$$

$$VPL_{\text{expandido}} = 160.995,32$$

Esse resultado evidencia que a consideração de decisões estratégicas futuras pode gerar valor adicional ao investimento, uma vez que a flexibilidade gerencial permite que os gestores ajustem suas decisões à medida que novas informações sobre o desempenho do projeto e as condições de mercado se tornam disponíveis. Destaca-se que o valor da opção de expansão foi estimado com base em uma abordagem simplificada inspirada na Teoria das Opções Reais, não sendo realizada uma modelagem formal de precificação por métodos como o modelo binomial. Ainda assim, essa aproximação permite capturar o valor econômico associado à flexibilidade gerencial no contexto do projeto analisado.

Em termos relativos, a inclusão da opção de expansão representa um incremento aproximado de 9,6% no valor do projeto, quando comparado ao VPL obtido pela abordagem tradicional. Tal resultado reforça a importância da utilização de metodologias que considerem a flexibilidade estratégica na avaliação de investimentos, sobretudo em projetos de longo prazo. Ressalta-se que essa abordagem difere de uma análise baseada no VPL incremental, uma vez que este é tradicionalmente utilizado para comparar alternativas mutuamente excludentes de investimento. No presente estudo, não se trata da escolha entre projetos distintos, mas da incorporação do valor da flexibilidade gerencial ao projeto original, por meio da possibilidade de expansão ao longo do tempo.

Cabe destacar ainda que os benefícios associados à expansão podem ser, na prática, ainda mais expressivos do que aqueles capturados nesta análise. Isso ocorre porque o projeto apresenta uma vida útil estimada superior a vinte anos, enquanto a projeção de fluxos de caixa considerada no presente estudo foi limitada ao horizonte temporal para o qual havia dados disponíveis. Dessa forma, os fluxos adicionais que poderiam ser gerados pela expansão ao longo do restante da vida útil do empreendimento não foram incorporados ao modelo de avaliação.

A ausência dessas informações impediu a inclusão desses benefícios adicionais na projeção financeira do projeto, o que sugere que os resultados obtidos podem representar uma estimativa conservadora do valor econômico da expansão.

Assim, os resultados apresentados devem ser interpretados como uma aproximação do valor mínimo associado à flexibilidade de expansão, indicando que a incorporação completa dos benefícios ao longo de toda a vida útil do empreendimento poderia resultar em um valor econômico ainda mais elevado.

4.4 A Opção de Expansão e o Desempenho Financeiro Consolidado

A análise da trajetória do investimento revela um comportamento estratégico que valida a aplicação da Teoria das Opções Reais. O investimento inicial realizado em janeiro de 2020 é compreendido como parte de um processo com flexibilidade gerencial. Nesse contexto, a expansão realizada posteriormente evidencia uma opção real, permitindo ajustar a capacidade do sistema conforme a evolução da demanda energética.

Essa estratégia de investimento gradual é consistente com a lógica das opções reais, na qual o investidor mantém a flexibilidade de tomar decisões adicionais à medida que novas informações sobre o desempenho do projeto se tornam disponíveis. No caso analisado, a operação do sistema ao longo dos primeiros anos forneceu evidências concretas sobre os benefícios econômicos da geração solar, reduzindo as incertezas associadas à tecnologia e ao comportamento do consumo energético da propriedade.

Nesse contexto, em janeiro de 2025, a propriedade exerceu sua opção de expansão, realizando um investimento adicional de R\$ 50.480,00 para ampliar a capacidade instalada do sistema fotovoltaico. Com isso, o investimento total acumulado no projeto passou a ser de R\$ 150.480,00.

Os dados financeiros consolidados indicam que, enquanto no período compreendido entre 2020 e 2024 a economia média mensal gerada pelo sistema situava-se em torno de R\$ 5.299,62 mensal, após a ampliação realizada em 2025 os ganhos financeiros passaram a apresentar valores substancialmente mais elevados. Com a nova capacidade instalada, o ganho financeiro mensal passou a ser aproximadamente R\$ 6.337,13. Esse aumento na economia mensal evidencia que o exercício da opção de expansão foi financeiramente racional,

permitindo capturar um benefício econômico maior em um cenário caracterizado por aumento da demanda energética da propriedade.

A análise comparativa entre os cenários com e sem a presença do sistema fotovoltaico também evidencia de forma clara os benefícios econômicos proporcionados pelo investimento. Considerando o consumo energético observado em fevereiro de 2025, caso a propriedade não possuísse o sistema fotovoltaico instalado, o custo total de energia elétrica teria alcançado aproximadamente R\$ 50.629,73 naquele mês.

Entretanto, com a geração própria de energia proporcionada pelo sistema ampliado, o valor efetivamente pago à concessionária foi significativamente reduzido para aproximadamente R\$ 12.418,61, uma vez que grande parte do consumo passou a ser compensada pela energia gerada internamente. Como resultado, apenas nos dois primeiros meses de 2025, a economia acumulada chegou ao valor de R\$ 76.422,24, demonstrando o impacto financeiro imediato da ampliação do sistema. Ressalta-se, contudo, que os ganhos observados associados à expansão foram obtidos com base em um horizonte observacional ainda curto, o que sugere que seus efeitos econômicos podem se ampliar ao longo do tempo, conforme a continuidade da operação do sistema.

Os resultados evidenciam que a decisão de expansão permitiu capturar economias significativamente maiores em um contexto de crescimento da demanda energética da propriedade. Sob a perspectiva da Teoria das Opções Reais, esse comportamento reforça a importância da flexibilidade gerencial em projetos de investimento, uma vez que a possibilidade de ampliar a capacidade instalada permitiu ao investidor adaptar o projeto às condições observadas ao longo do tempo.

Estudos como os da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI, 2021) e de Vargas, Martinazzo e Zanin (2019) também identificaram reduções significativas nos custos operacionais relacionados ao consumo de energia elétrica, reforçando o potencial da geração própria como estratégia para aumento da eficiência econômica das atividades produtivas.

De forma semelhante, pesquisas conduzidas por Caglayan (2023) e Bassotto et al. (2022) evidenciam a viabilidade econômica da implantação de sistemas fotovoltaicos em propriedades rurais, destacando a obtenção de VPL positivo como indicador relevante de

retorno financeiro. Os resultados encontrados neste estudo estão em consonância com essas evidências, ao indicar que o investimento em geração de energia solar apresenta desempenho econômico favorável.

Além disso, os resultados também dialogam com Penizzotto et al. (2019), que demonstram que a incorporação da Teoria das Opções Reais pode ampliar o valor econômico estimado de projetos fotovoltaicos. De maneira semelhante, neste estudo, a inclusão da opção de expansão permitiu capturar o valor econômico associado à flexibilidade gerencial, evidenciando que a utilização dessa abordagem contribui para uma análise mais abrangente da viabilidade econômico-financeira de investimentos em geração de energia solar.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo geral analisar a viabilidade econômico-financeira da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica em uma propriedade rural produtora de leite, por meio da aplicação conjunta dos métodos tradicionais de avaliação de investimentos e da Teoria das Opções Reais. Para isso, foi realizado um estudo de caso baseado em dados reais de consumo energético e custos de energia elétrica da propriedade analisada, permitindo avaliar o desempenho econômico do investimento e as possibilidades estratégicas associadas à expansão do sistema fotovoltaico.

Inicialmente, a avaliação do projeto foi realizada por meio dos métodos tradicionais de investimento, como o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback descontado, o que permitiu verificar que o projeto apresenta desempenho econômico positivo. Os resultados indicaram um VPL positivo, TIR superior à TMA adotada e um período de recuperação do investimento relativamente curto quando comparado à vida útil estimada do sistema fotovoltaico. Esses indicadores demonstram que o investimento é economicamente viável e que a geração própria de energia pode representar uma estratégia eficiente para redução dos custos operacionais em propriedades rurais com elevado consumo energético.

Além da análise financeira tradicional, a utilização de ferramentas econométricas e estatísticas contribuiu para compreender a dinâmica do consumo energético da propriedade. A

estimação de um modelo de regressão linear pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (OLS) indicou a presença de uma tendência crescente de consumo ao longo do período analisado, associada à expansão das atividades produtivas da propriedade.

Entretanto, a principal contribuição deste estudo está na incorporação da Teoria das Opções Reais à análise do investimento. Na análise de investimento por meio do olhar da Teoria de Opções Reais, buscou-se incorporar, de forma aplicada, a flexibilidade gerencial associada ao projeto, especialmente no que se refere à possibilidade de expansão do sistema fotovoltaico ao longo do tempo. Enquanto os métodos tradicionais permitem avaliar a viabilidade do projeto com base em fluxos de caixa estimados, essa abordagem possibilita considerar decisões estratégicas que podem ser tomadas ao longo da vida útil do investimento. No caso analisado, a possibilidade de expansão do sistema fotovoltaico representou uma oportunidade de adaptação do projeto às mudanças observadas na demanda energética da propriedade.

A inclusão da opção de expansão, operacionalizada por meio do VPL expandido, permitiu incorporar ao modelo uma aproximação do valor da flexibilidade gerencial, evidenciando ganhos econômicos adicionais em relação à análise tradicional baseada apenas no VPL. Ressalta-se que essa abordagem constitui uma aproximação inspirada na Teoria das Opções Reais, não envolvendo uma modelagem formal de precificação, mas permitindo ampliar a análise econômica do investimento.

Assim, em resposta à pergunta de pesquisa proposta: como a aplicação conjunta dos métodos tradicionais de avaliação de investimentos e da Teoria das Opções Reais, por meio do VPL expandido, pode contribuir para a análise da viabilidade econômico-financeira da implantação de um sistema fotovoltaico em uma propriedade rural produtora de leite; os resultados indicam que a combinação dessas abordagens permite realizar uma análise mais completa e consistente do investimento. Enquanto os métodos tradicionais fornecem indicadores objetivos de rentabilidade financeira, a Teoria das Opções Reais amplia essa avaliação ao incorporar o valor econômico da flexibilidade gerencial e das oportunidades estratégicas que podem surgir ao longo do tempo.

Como limitação do estudo, destaca-se a parcialidade da base de dados utilizada, uma vez que não foi possível obter registros completos para todo o período analisado, o que exigiu a adoção de procedimentos de estimação para reconstrução de parte da série histórica de consumo energético. Essa limitação implica restrições à precisão dos resultados, uma vez que

os valores estimados podem não refletir integralmente o comportamento real da demanda ao longo do tempo.

Adicionalmente, a análise apresenta caráter exploratório no que se refere à incorporação da Teoria das Opções Reais, tendo em vista que a mensuração do valor da opção de expansão foi realizada por meio de uma abordagem simplificada, não envolvendo modelos formais de precificação. Por fim, a limitação do horizonte temporal de análise, restrito ao período para o qual havia dados disponíveis, impede a captura integral dos benefícios econômicos ao longo de toda a vida útil do sistema fotovoltaico, o que pode resultar em uma subestimação do valor total do investimento.

Para pesquisas futuras, sugere-se a realização de estudos comparativos envolvendo diferentes propriedades rurais, sistemas produtivos e escalas de geração fotovoltaica. Também se recomenda a ampliação da análise para incluir impactos ambientais e socioeconômicos associados à adoção de energias renováveis no meio rural. Além disso, propõe-se a aplicação de modelos alternativos de avaliação de opções reais, como o modelo binomial, a fim de comparar os resultados obtidos por meio de diferentes abordagens metodológicas.

Por fim, conclui-se que investimentos em geração de energia solar fotovoltaica representam uma alternativa economicamente viável para propriedades rurais intensivas em consumo energético, contribuindo para a redução de custos operacionais e para o fortalecimento da sustentabilidade econômica das atividades agropecuárias. Nesse sentido, a integração entre métodos tradicionais de análise financeira e a abordagem da Teoria das Opções Reais mostra-se especialmente relevante para a avaliação de investimentos no setor energético rural, ao permitir considerar não apenas a rentabilidade do projeto, mas também o valor estratégico da flexibilidade gerencial em contextos caracterizados por incerteza e crescimento da demanda energética, ampliando a capacidade de tomada de decisão dos investidores.

REFERÊNCIAS

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 482/2012**. Brasília: ANEEL, 2012.
- ASG SOLAR. **Tudo o que você precisa saber sobre placas fotovoltaicas**. 2022. Disponível em: <https://www.asg.com.br/post/2019/09/28/tudo-o-que-voc%C3%AAprecisa-saber-sobre-placas-fotovoltaicas>. Acesso em: 05 jun. 2022.
- ASSAF NETO, Alexandre. *Finanças corporativas e valor*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2016.
- AUGUSTO, F. **Energia fotovoltaica é aliada da sustentabilidade e produtividade no agro**. Revista IS Brasil Solar, v. 2, 2021.
- BASSOTTO, Leandro Carvalho et al. **Energia fotovoltaica: análise de custos de produção em propriedade leiteira de Minas Gerais**. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 15, n. 4, p. 1-16, 2022.
- BOTACIN, Gabriel Ciarlo. **Energia fotovoltaica na agropecuária e aplicações na pecuária de leite: revisão bibliográfica**. 2022.
- BRANDÃO, Luiz Eduardo Teixeira; DYER, James S.; HAHN, Warren J. **Using binomial decision trees to solve real-option valuation problems**. *Decision Analysis*, v. 2, n. 2, p. 69-88, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1287/deca.1050.0051>.
- BRIGHAM, Eugene F.; EHRHARDT, Michael C. *Administração financeira: teoria e prática*. São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- BRÃO, M. E. G. et al. **Dimensionamento econômico para implantação da energia solar fotovoltaica conectada à rede elétrica em uma residência na cidade de Ituiutaba-MG**. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 5, p. 46358-46378, 2021.
- CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. 2023.
- DAMODARAN, Aswath. *Investment valuation: tools and techniques for determining the value of any asset*. 3. ed. New York: Wiley, 2012.
- DIAS, Marco Antonio Guedes. *Investimento sob incerteza: opções reais*. Rio de Janeiro: Campus, 2005.
- DIXIT, Avinash K.; PINDYCK, Robert S. *Investment under uncertainty*. Princeton: Princeton University Press, 1994.
- EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Uso de energia solar fotovoltaica impulsiona ganhos na produção leiteira**. 2021. Disponível em:

<https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/tag/energia-solar-no-campo/>. Acesso em: 21 maio 2022.

GUIMARÃES FILHO, C. **Crise hídrica pressiona produtores rurais a migrar para energia solar**. *Diálogo Chino*, 2021. Disponível em: <https://dialogochino.net/pt-br/mudanca-climatica-e-energia-pt-br/44774-crise-hidrica-pressiona-produtores-rurais-a-migrar-para-energia-solar/>. Acesso em: 24 maio 2022.

IEA – International Energy Agency. *Global Photovoltaic Market Report 2022*. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/>.

JORDÃO, L. R. et al. **Energia solar como fator de desenvolvimento rural e a produção de leite em Goiás**. *DRd – Desenvolvimento Regional em Debate*, v. 10, p. 862-884, 2020.

LAZO, J.; WATTS, D. **The use of real options approach in solar photovoltaic literature: a systematic review**. *Energy Strategy Reviews*, v. 43, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101049>.

MAIA, D. S. et al. **Benefícios e eficiência econômica da energia solar fotovoltaica para uma pequena propriedade rural**. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 8, p. 82633-82643, 2021.

MARCHIORO, A. F.; DAHMER, R. D.; SOUZA, R. C. **Metodologia para análise da viabilidade técnico-econômica para geração de energia fotovoltaica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. Anais... Gramado, 2018.

MERCANDELLI, S. **Energia solar na área rural é opção de economia**. Canal Bioenergia, 2020. Disponível em: <https://www.canalbioenergia.com.br/cresce-uso-de-energia-solar-na-area-rural/>. Acesso em: 21 maio 2022.

MIGLIAVACCA, A.; SCARTAZZINI, L. S. **A energia solar aplicada à atividade leiteira em pequena propriedade do Sul do Brasil**. In: CONGRESSO SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 10., 2015, São Paulo. Anais... São Paulo: USP, 2015.

ROCHA, Milena de Cássia. *A teoria de opções reais e o método de classificação de pacientes por grupo de diagnósticos relacionados*. 2020. 148 f. Tese (Doutorado em Administração) – Centro de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração, Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

MILKPOINT. **Como a energia solar fotovoltaica ajuda a aumentar seus lucros na produção de leite?** 2020. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/empresas/novidades-parceiros/como-a-energia-solar-fotovoltaica-ajuda-a-aumentar-seus-lucros-na-producao-de-leite-217526/>. Acesso em: 05 jun. 2022.

MOURA, T. P. **Sistema de aquaponia integrada com energia solar fotovoltaica: uma alternativa econômica para comunidades rurais**. 2021.

OLIVEIRA, João Paulo; SILVA, Daniela. **Energia solar na agricultura familiar: análise de viabilidade.** *Revista Brasileira de Energia Renovável*, 2019.

PACHECO, F. **Energias renováveis: breves conceitos.** *Conjuntura e Planejamento*, Salvador: SEI, n. 149, 2006.

PENIZZOTTO BACHA, F.; PRINGLES, R.; OLSINA, F. **Real options applied to renewable energy investments: a review.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 104, p. 234-247, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.041>.

PEREIRA, H. B.; LIMA, F. R.; SANTOS, M. S. **Energia solar no meio rural: perspectivas e desafios.** *Revista de Sustentabilidade e Energia*, v. 5, n. 1, p. 12-25, 2020.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.* Rio de Janeiro: CEPEL/Eletronbras, 2014.

ROSA, A. R. O.; GASPARIN, F. P. **Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil.** *Revista Brasileira de Energia Solar*, v. 7, n. 2, p. 140-147, 2016.

SEVERINO, M.; OLIVEIRA, M. **Fontes e tecnologias de geração distribuída para atendimento a comunidades isoladas.** In: *Energia, economia e rotas tecnológicas: textos selecionados*. v. 1. p. 265-322, 2010.

SILVA, R.; MACEDO, M. A. **Flexibilidade gerencial e análise de projetos: uma revisão sobre opções reais no setor energético.** *Revista de Administração e Negócios da Amazônia*, v. 12, n. 3, p. 24-40, 2020.

TRIGEORGIS, Lenos. *Real options: managerial flexibility and strategy in resource allocation.* Cambridge: MIT Press, 1996.

VARGAS, Lucas Antônio; MARTINAZZO, Maria Regina; ZANIN, Antonio. **Gestão de energia sustentável: o panorama de uma propriedade rural.** 2019.

ANEXO 1 - RESUMO DA SAÍDA DO PYTHON

```

=====
RESULTADOS DA REGRESSÃO OLS
=====
                        OLS Regression Results
=====
Dep. Variable:          Consumo      R-squared:                0.722
Model:                  OLS          Adj. R-squared:          0.656
Method:                 Least Squares  F-statistic:             10.84
Date:                   Wed, 11 Mar 2026  Prob (F-statistic):      3.71e-10
Time:                   09:48:25      Log-Likelihood:          -617.09
No. Observations:       63           AIC:                    1260.
Df Residuals:           50           BIC:                    1288.
Df Model:               12
Covariance Type:        nonrobust
=====

```

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	4509.5817	2472.454	1.824	0.074	-456.489	9475.652
t	263.4420	24.304	10.840	0.000	214.627	312.258
mes_1	-2027.5390	2956.546	-0.686	0.496	-7965.937	3910.859
mes_2	585.2651	2953.248	0.198	0.844	-5346.508	6517.038
mes_3	1095.5769	2954.148	0.371	0.712	-4838.004	7029.158
mes_4	1785.1349	2953.248	0.604	0.548	-4146.638	7716.908
mes_5	3679.5261	2952.548	1.246	0.218	-2250.841	9609.893
mes_6	2732.7508	2952.048	0.926	0.359	-3196.612	8662.113
mes_7	-775.6507	3083.543	-0.252	0.802	-6969.129	5417.827
mes_8	-3784.0927	3083.140	-1.227	0.225	-9976.763	2408.577
mes_9	3136.8523	3273.154	0.958	0.342	-3437.471	9711.176
mes_10	1105.9102	3272.161	0.338	0.737	-5466.419	7678.240
mes_11	520.4682	3271.349	0.159	0.874	-6050.230	7091.166

```

=====
Omnibus:                2.762      Durbin-Watson:            1.531
Prob(Omnibus):          0.251      Jarque-Bera (JB):         1.965
Skew:                   -0.396      Prob(JB):                 0.374
Kurtosis:               3.347      Cond. No.                 662.
=====
Notes:
[1] Standard Errors assume that the covariance matrix of the errors is correctly specified.
=====

===== RESULTADOS MONTE CARLO =====
Média esperada: 27723.81
Desvio padrão: 4384.65
P5 (cenário pessimista): 20518.08
P95 (cenário otimista): 34901.15
=====

```

ANEXO 2 - TABELA DE DADOS HISTÓRICOS

Data	Consumo KWh - CEMIG	Custo do KWh - CEMIG	Valor pago pelo consumo - CEMIG	Potência instalada (geração interna)	Consumo total (CEMIG + Geração interna)	Custo total do consumo total	Ganho com a geração interna
jan/18	4.419	0,8586	R\$ 3.794,15		4.419	R\$ 3.794,15	R\$ -
fev/18	4.003	0,8586	R\$ 3.436,98		4.003	R\$ 3.436,98	R\$ -
mar/18	4.261	0,8586	R\$ 3.658,49		4.261	R\$ 3.658,49	R\$ -
abr/18	4.268	0,8586	R\$ 3.664,50		4.268	R\$ 3.664,50	R\$ -
mai/18	15.434	0,8586	R\$ 13.251,63		15.434	R\$ 13.251,63	R\$ -
jun/18	0	0,9086	R\$ -		0	R\$ -	R\$ -
jul/18	0	0,9086	R\$ -		0	R\$ -	R\$ -
ago/18	0	0,9086	R\$ -		0	R\$ -	R\$ -
set/18	4.187	0,9086	R\$ 3.804,31		4.187	R\$ 3.804,31	R\$ -
out/18	4.173	0,9086	R\$ 3.791,59		4.173	R\$ 3.791,59	R\$ -
nov/18	3.310	0,8586	R\$ 2.841,97		3.310	R\$ 2.841,97	R\$ -
dez/18	3.410	0,8586	R\$ 2.927,83		3.410	R\$ 2.927,83	R\$ -
jan/19	0	0,41079	R\$ -		0	R\$ -	R\$ -

fev/19	8.783	0,859	R\$ 7.544,63		8.783	R\$ 7.544,63	R\$ -
mar/19	9.557	0,859	R\$ 8.209,28		9.557	R\$ 8.209,28	R\$ -
abr/19	10.510	0,859	R\$ 9.027,91		10.510	R\$ 9.027,91	R\$ -
mai/19	12.668	0,878	R\$ 11.122,17		12.668	R\$ 11.122,17	R\$ -
jun/19	11.984	0,859	R\$ 10.294,50		11.984	R\$ 10.294,50	R\$ -
jul/19	8.739	0,878	R\$ 7.673,13		8.739	R\$ 7.673,13	R\$ -
ago/19	5.994	0,903	R\$ 5.412,88		5.994	R\$ 5.412,88	R\$ -
set/19	13.179	0,903	R\$ 11.900,38		13.179	R\$ 11.900,38	R\$ -
out/19	11.411	0,878	R\$ 10.019,05		11.411	R\$ 10.019,05	R\$ -
nov/19	11.089	0,903	R\$ 10.013,56		11.089	R\$ 10.013,56	R\$ -
dez/19	10.832	0,878	R\$ 9.510,66		10.832	R\$ 9.510,66	R\$ -
jan/20	9068	0,878	R\$ 7.961,79	8923,2	17.991	R\$ 15.796,36	R\$ 7.834,57
fev/20	11.944	0,859	R\$ 10.260,19	8923,2	20.868	R\$ 17.925,22	R\$ 7.665,03
mar/20	14.858	0,52029	R\$ 7.730,47	8923,2	23.781	R\$ 12.373,12	R\$ 4.642,65
abr/20	16.409	0,52029	R\$ 8.537,44	8923,2	25.332	R\$ 13.180,09	R\$ 4.642,65
mai/20	16.590	0,52029	R\$ 8.631,61	8923,2	25.513	R\$ 13.274,26	R\$ 4.642,65
jun/20	13.484	0,52029	R\$ 7.015,59	8923,2	22.407	R\$ 11.658,24	R\$ 4.642,65
jul/20	16.991	0,52029	R\$ 8.840,25	8923,2	25.914	R\$ 13.482,90	R\$ 4.642,65
ago/20	18.986	0,52029	R\$ 9.878,23	8923,2	27.909	R\$ 14.520,88	R\$ 4.642,65
set/20	17.217	0,52029	R\$ 8.957,83	8923,2	26.140	R\$ 13.600,48	R\$ 4.642,65
out/20	17.761	0,52029	R\$ 9.240,87	8923,2	26.684	R\$ 13.883,52	R\$ 4.642,65
nov/20	17.376	0,68588	R\$ 11.917,85	8923,2	26.299	R\$ 18.038,10	R\$ 6.120,24

dez/20	19.324	0,68588	R\$ 13.253,95	8923,2	28.247	R\$ 19.374,19	R\$ 6.120,24
jan/21	9.200	0,68588	R\$ 6.310,10	8923,2	18.123	R\$ 12.430,34	R\$ 6.120,24
fev/21	20.200	0,68588	R\$ 13.854,78	8923,2	29.123	R\$ 19.975,02	R\$ 6.120,24
mar/21	15.600	0,68588	R\$ 10.699,73	8923,2	24.523	R\$ 16.819,97	R\$ 6.120,24
abr/21	18.360	0,68588	R\$ 12.592,76	8923,2	27.283	R\$ 18.713,00	R\$ 6.120,24
mai/21	21.000	0,68588	R\$ 14.403,48	8923,2	29.923	R\$ 20.523,72	R\$ 6.120,24
jun/21	20.800	0,68588	R\$ 14.266,30	8923,2	29.723	R\$ 20.386,55	R\$ 6.120,24
jul/21	18.200	0,68588	R\$ 12.483,02	8923,2	27.123	R\$ 18.603,26	R\$ 6.120,24
ago/21	17.480	0,68588	R\$ 11.989,18	8923,2	26.403	R\$ 18.109,43	R\$ 6.120,24
set/21	22.000	0,68588	R\$ 15.089,36	8923,2	30.923	R\$ 21.209,60	R\$ 6.120,24
out/21	22.080	0,68588	R\$ 15.144,23	8923,2	31.003	R\$ 21.264,47	R\$ 6.120,24
nov/21	23.360	0,68588	R\$ 16.022,16	8923,2	32.283	R\$ 22.142,40	R\$ 6.120,24
dez/21	15.640	0,54388	R\$ 8.506,28	8923,2	24.563	R\$ 13.359,43	R\$ 4.853,15
jan/22	22.320	0,54388	R\$ 12.139,40	8923,2	31.243	R\$ 16.992,55	R\$ 4.853,15
fev/22	19.160	0,54388	R\$ 10.420,74	8923,2	28.083	R\$ 15.273,89	R\$ 4.853,15
mar/22	23.720	0,54388	R\$ 12.900,83	8923,2	32.643	R\$ 17.753,98	R\$ 4.853,15
abr/22	18.080	0,54388	R\$ 9.833,35	8923,2	27.003	R\$ 14.686,50	R\$ 4.853,15
mai/22	15.200	0,54388	R\$ 8.266,98	8923,2	24.123	R\$ 13.120,13	R\$ 4.853,15
jun/22	22.200	0,54388	R\$ 12.074,14	8923,2	31.123	R\$ 16.927,29	R\$ 4.853,15
jul/22	18.223	0,859	R\$ 15.653,77	8923,2	27.146	R\$ 23.318,80	R\$ 7.665,03
ago/22	15.478	0,859	R\$ 13.295,81	8923,2	24.401	R\$ 20.960,84	R\$ 7.665,03
set/22	22.663	0,859	R\$ 19.467,20	8923,2	31.586	R\$ 27.132,23	R\$ 7.665,03
out/22	20.895	0,859	R\$ 17.948,92	8923,2	29.818	R\$ 25.613,95	R\$ 7.665,03
nov/22	20.573	0,859	R\$ 17.672,32	8923,2	29.496	R\$ 25.337,35	R\$ 7.665,03
dez/22	24.000	0,54388	R\$ 13.053,12	8923,2	32.923	R\$ 17.906,27	R\$ 4.853,15
jan/23	20.360	0,48733	R\$ 9.922,04	8923,2	29.283	R\$ 14.270,58	R\$ 4.348,54
fev/23	21.400	0,48733	R\$ 10.428,86	8923,2	30.323	R\$ 14.777,41	R\$ 4.348,54

mar/23	21.840	0,48733	R\$ 10.643,29	8923,2	30.763	R\$ 14.991,83	R\$ 4.348,54
abr/23	26.240	0,48733	R\$ 12.787,54	8923,2	35.163	R\$ 17.136,08	R\$ 4.348,54
mai/23	20.480	0,48733	R\$ 9.980,52	8923,2	29.403	R\$ 14.329,06	R\$ 4.348,54
jun/23	32.080	0,48733	R\$ 15.633,55	8923,2	41.003	R\$ 19.982,09	R\$ 4.348,54
jul/23	23.760	0,48733	R\$ 11.578,96	8923,2	32.683	R\$ 15.927,50	R\$ 4.348,54
ago/23	20.400	0,48733	R\$ 9.941,53	8923,2	29.323	R\$ 14.290,08	R\$ 4.348,54
set/23	25.824	0,48733	R\$ 12.584,78	8923,2	34.747	R\$ 16.933,32	R\$ 4.348,54
out/23	24.056	0,48733	R\$ 11.723,42	8923,2	32.980	R\$ 16.071,97	R\$ 4.348,54
nov/23	23.734	0,48733	R\$ 11.566,50	8923,2	32.658	R\$ 15.915,05	R\$ 4.348,54
dez/23	23.477	0,48733	R\$ 11.441,25	8923,2	32.401	R\$ 15.789,79	R\$ 4.348,54
jan/24	21.713	0,48733	R\$ 10.581,55	8923,2	30.637	R\$ 14.930,09	R\$ 4.348,54
fev/24	24.600	0,53071	R\$ 13.055,47	8923,2	33.523	R\$ 17.791,10	R\$ 4.735,63
mar/24	21.320	0,53071	R\$ 11.314,74	8923,2	30.243	R\$ 16.050,37	R\$ 4.735,63
abr/24	23.960	0,53071	R\$ 12.715,81	8923,2	32.883	R\$ 17.451,44	R\$ 4.735,63
mai/24	31.560	0,53071	R\$ 16.749,21	8923,2	40.483	R\$ 21.484,84	R\$ 4.735,63
jun/24	27.600	0,53071	R\$ 14.647,60	8923,2	36.523	R\$ 19.383,23	R\$ 4.735,63
jul/24	19.520	0,53071	R\$ 10.359,46	8923,2	28.443	R\$ 15.095,09	R\$ 4.735,63
ago/24	7.880	0,53071	R\$ 4.181,99	8923,2	16.803	R\$ 8.917,63	R\$ 4.735,63
set/24	31.440	0,53071	R\$ 16.685,52	8923,2	40.363	R\$ 21.421,15	R\$ 4.735,63
out/24	23.760	0,53071	R\$ 12.609,67	8923,2	32.683	R\$ 17.345,30	R\$ 4.735,63
nov/24	22.440	0,53071	R\$ 11.909,13	8923,2	31.363	R\$ 16.644,76	R\$ 4.735,63
dez/24	23.400	0,53071	R\$ 12.418,61	8923,2	32.323	R\$ 17.154,25	R\$ 4.735,63
jan/25	23.400	0,53071	R\$ 12.418,61	72000	95.400	R\$ 50.629,73	R\$ 38.211,12
fev/25	23.400	0,53071	R\$ 12.418,61	72000	95.400	R\$ 50.629,73	R\$ 38.211,12

TOTAL	1.428.297,87		R\$ 878.511,83	679.392,00	2.107.689,87	R\$ 1.272.911,41	R\$ 394.399,58
--------------	---------------------	--	-----------------------	-------------------	---------------------	-------------------------	-----------------------

ANEXO 3 - FLUXOS DE CAIXA OPERACIONAIS E SAÍDAS DA AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTO

Meses	Fluxos de Caixa	Io	-R\$ 100.000,00	Valor presente do FC	Payback descontado
1	FCO	jan/20	R\$ 7.834,57	R\$ 7.760,93	-R\$ 92.239,07
2	FCO	fev/20	R\$ 7.665,03	R\$ 7.521,61	-R\$ 84.717,46
3	FCO	mar/20	R\$ 4.642,65	R\$ 4.512,96	-R\$ 80.204,50
4	FCO	abr/20	R\$ 4.642,65	R\$ 4.470,54	-R\$ 75.733,96
5	FCO	mai/20	R\$ 4.642,65	R\$ 4.428,52	-R\$ 71.305,44
6	FCO	jun/20	R\$ 4.642,65	R\$ 4.386,89	-R\$ 66.918,55
7	FCO	jul/20	R\$ 4.642,65	R\$ 4.345,66	-R\$ 62.572,89
8	FCO	ago/20	R\$ 4.642,65	R\$ 4.304,81	-R\$ 58.268,08
9	FCO	set/20	R\$ 4.642,65	R\$ 4.264,35	-R\$ 54.003,73
10	FCO	out/20	R\$ 4.642,65	R\$ 4.224,26	-R\$ 49.779,47
11	FCO	nov/20	R\$ 6.120,24	R\$ 5.516,36	-R\$ 44.263,11
12	FCO	dez/20	R\$ 6.120,24	R\$ 5.464,50	-R\$ 38.798,61
13	FCO	jan/21	R\$ 6.120,24	R\$ 5.413,14	-R\$ 33.385,47
14	FCO	fev/21	R\$ 6.120,24	R\$ 5.362,26	-R\$ 28.023,21
15	FCO	mar/21	R\$ 6.120,24	R\$ 5.311,86	-R\$ 22.711,35
16	FCO	abr/21	R\$ 6.120,24	R\$ 5.261,93	-R\$ 17.449,43
17	FCO	mai/21	R\$ 6.120,24	R\$ 5.212,47	-R\$ 12.236,96
18	FCO	jun/21	R\$ 6.120,24	R\$ 5.163,47	-R\$ 7.073,49
19	FCO	jul/21	R\$ 6.120,24	R\$ 5.114,94	-R\$ 1.958,55
20	FCO	ago/21	R\$ 6.120,24	R\$ 5.066,86	R\$ 3.108,30
21	FCO	set/21	R\$ 6.120,24	R\$ 5.019,23	R\$ 8.127,54
22	FCO	out/21	R\$ 6.120,24	R\$ 4.972,05	R\$ 13.099,59
23	FCO	nov/21	R\$ 6.120,24	R\$ 4.925,32	R\$ 18.024,91

24	FCO	dez/21	R\$ 4.853,15	R\$ 3.868,90	R\$ 21.893,81
25	FCO	jan/22	R\$ 4.853,15	R\$ 3.832,54	R\$ 25.726,34
26	FCO	fev/22	R\$ 4.853,15	R\$ 3.796,51	R\$ 29.522,85
27	FCO	mar/22	R\$ 4.853,15	R\$ 3.760,83	R\$ 33.283,68
28	FCO	abr/22	R\$ 4.853,15	R\$ 3.725,48	R\$ 37.009,15
29	FCO	mai/22	R\$ 4.853,15	R\$ 3.690,46	R\$ 40.699,61
30	FCO	jun/22	R\$ 4.853,15	R\$ 3.655,77	R\$ 44.355,38
31	FCO	jul/22	R\$ 7.665,03	R\$ 5.719,62	R\$ 50.075,00
32	FCO	ago/22	R\$ 7.665,03	R\$ 5.665,86	R\$ 55.740,86
33	FCO	set/22	R\$ 7.665,03	R\$ 5.612,60	R\$ 61.353,46
34	FCO	out/22	R\$ 7.665,03	R\$ 5.559,85	R\$ 66.913,31
35	FCO	nov/22	R\$ 7.665,03	R\$ 5.507,59	R\$ 72.420,89
36	FCO	dez/22	R\$ 4.853,15	R\$ 3.454,38	R\$ 75.875,27
37	FCO	jan/23	R\$ 4.348,54	R\$ 3.066,11	R\$ 78.941,38
38	FCO	fev/23	R\$ 4.348,54	R\$ 3.037,29	R\$ 81.978,67
39	FCO	mar/23	R\$ 4.348,54	R\$ 3.008,74	R\$ 84.987,42
40	FCO	abr/23	R\$ 4.348,54	R\$ 2.980,46	R\$ 87.967,88
41	FCO	mai/23	R\$ 4.348,54	R\$ 2.952,45	R\$ 90.920,33
42	FCO	jun/23	R\$ 4.348,54	R\$ 2.924,70	R\$ 93.845,02
43	FCO	jul/23	R\$ 4.348,54	R\$ 2.897,20	R\$ 96.742,23
44	FCO	ago/23	R\$ 4.348,54	R\$ 2.869,97	R\$ 99.612,20
45	FCO	set/23	R\$ 4.348,54	R\$ 2.843,00	R\$ 102.455,20
46	FCO	out/23	R\$ 4.348,54	R\$ 2.816,27	R\$ 105.271,47
47	FCO	nov/23	R\$ 4.348,54	R\$ 2.789,80	R\$ 108.061,27
48	FCO	dez/23	R\$ 4.348,54	R\$ 2.763,58	R\$ 110.824,85
49	FCO	jan/24	R\$ 4.348,54	R\$ 2.737,60	R\$ 113.562,45
50	FCO	fev/24	R\$ 4.735,63	R\$ 2.953,27	R\$ 116.515,72

51	FCO	mar/24	R\$ 4.735,63	R\$ 2.925,51	R\$ 119.441,22
52	FCO	abr/24	R\$ 4.735,63	R\$ 2.898,01	R\$ 122.339,23
53	FCO	mai/24	R\$ 4.735,63	R\$ 2.870,77	R\$ 125.210,00
54	FCO	jun/24	R\$ 4.735,63	R\$ 2.843,79	R\$ 128.053,79
55	FCO	jul/24	R\$ 4.735,63	R\$ 2.817,05	R\$ 130.870,84
56	FCO	ago/24	R\$ 4.735,63	R\$ 2.790,58	R\$ 133.661,42
57	FCO	set/24	R\$ 4.735,63	R\$ 2.764,35	R\$ 136.425,76
58	FCO	out/24	R\$ 4.735,63	R\$ 2.738,36	R\$ 139.164,13
59	FCO	nov/24	R\$ 4.735,63	R\$ 2.712,62	R\$ 141.876,75
60	FCO	dez/24	R\$ 4.735,63	R\$ 2.687,12	R\$ 144.563,87
61	I0		-R\$ 50.480,00	-R\$ 28.374,47	
62	FCO	jan/25	R\$ 38.211,12	R\$ 21.276,33	
63	FCO	fev/25	R\$ 38.211,12	R\$ 21.076,34	

ANEXO 4 – ROTEIRO DA ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA COM O GESTOR

1. Apresentação e Contextualização

- a) Poderia nos contar brevemente sobre a propriedade e suas principais atividades?
- b) Como é o perfil de consumo de energia da fazenda? Há sazonalidade no uso?

2. Processo Decisório do Investimento

- a) Quando surgiu a ideia de investir em energia fotovoltaica?
- b) Quais fatores motivaram essa decisão (economia, sustentabilidade, autonomia energética, incentivos governamentais, entre outros)?
- c) Quem participou da decisão? Houve consulta a especialistas ou fornecedores?

3. Informações sobre a Implantação

- a) Em que ano a instalação foi realizada?
- b) Como foi o processo de contratação e implantação do sistema?
- c) Houve desafios técnicos, burocráticos ou financeiros durante a implantação?

4. Aspectos Técnicos do Sistema

- a) Qual é a capacidade instalada do sistema?
- b) O sistema é on-grid, off-grid ou híbrido?
- c) Houve necessidade de adaptação estrutural (telhado, solo ou rede elétrica)?
- d) Existe manutenção periódica? Como é realizada e com qual frequência?

5. Consumo e Produção de Energia

- a) Como era o consumo de energia antes da instalação do sistema?
- b) Houve mudança no consumo após a entrada do sistema?
- c) Há geração de energia excedente?
- d) Em caso afirmativo, essa energia é comercializada? Para quem e em quais condições?

6. Resultados Econômicos

- a) Poderia comentar sobre o investimento inicial necessário?
- b) Foi utilizado financiamento? Em caso afirmativo, qual modalidade?

7. Perspectiva de Futuro e Flexibilidade (Opções Reais)

- a) Existe a intenção de ampliar a capacidade instalada no futuro? Por quê?
- b) Há interesse na adoção de sistemas de armazenamento de energia (baterias)?
- c) Caso ocorram mudanças no custo da energia convencional ou nas regras regulatórias, há intenção de alterar o projeto?
- d) Diante de mudanças climáticas ou operacionais, a decisão seria manter, ampliar, reduzir ou adiar o investimento?

8. Encerramento

- a) Há alguma informação adicional que considera relevante compartilhar?

CÁLCULO DOS INDICADORES

TMA	0,949% ao mês	12% ao ano
TIR	5% ao mês	86% ao ano
VPL Projeto	R\$ 146.884,49	
VPL EXPANSÃO	R\$ 24.868,11	
VALOR OPÇÃO EXPANSÃO	R\$ 14.110,832	
VPL EXPANDIDO	R\$ 160.995,321	