



Análise de viabilidade econômica da implantação de um sistema fotovoltaico em uma propriedade rural

Economic viability of a photovoltaic system on a farm

Sabrina Nespolo¹, Bruna Carlim da Gama¹, Vanessa Santin Guerra¹, Victoria Dallagnol Batista¹, Victoria de Matos Lopes¹, José Donizetti de Lima²

RESUMO: O presente estudo teve como finalidade analisar a viabilidade econômica (VE) da instalação de um sistema fotovoltaico em uma pequena propriedade rural, localizada na região Sudoeste do Paraná. O ponto de partida foi estimar os custos de implantação, manutenção e operação do sistema e projetar as economias decorrentes desse Projeto de Investimento Agropecuário (PIA). Na sequência, o estudo promoveu uma análise de VE do PIA, utilizando a Metodologia Multi-índice Ampliada (MMIA), em conjunto com a Simulação de Monte Carlo (SMC) via aplicativo de acesso livre \$AVEPI[®]. O procedimento de uso conjunto da MMIA e SMC é considerado uma abordagem moderna e consistente para subsidiar a tomada de decisão de investimentos. Da análise dos indicadores da MMIA depreende-se que o PIA apresenta grau de retorno médio, níveis de riscos e sensibilidades baixos. Por outro lado, a SMC mostrou que, dentro da variabilidade considerada, não há possibilidade desse PIA gerar prejuízo financeiro para a propriedade. Além disso, os indicadores de riscos extremos VaR (*Value at Risk*) e CVaR (*Conditional VaR*), ao nível de 5%, gerados por meio de 100.000 cenários aleatórios via SMC, produziram valores expressivos à realidade da unidade de produção familiar. A análise desses resultados permite indicar a VE do PIA, sendo recomendada a sua imediata implantação.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica. Metodologia multi-índice ampliada. Pequena propriedade rural familiar. Projeto de investimento agropecuário. Simulação de Monte Carlo.

ABSTRACT: Economic viability (EV) of a photovoltaic system on a small farm in the southwestern region of the state of Paraná, Brazil, is analyzed. Costs for the system's implantation, maintenance and operation are estimated and savings of the Agriculture and Stockbreeding Project (ASBP) are investigated. Research analyzed EV of ASBP by Amplified Multi-Index Methodology (AMIM) and Monte Carlo Simulation (MCS) by \$AVEPI[®]. The simultaneous use of AMIM and MCS is a modern and consistent approach to subsidy decision taking for investments. AMIM indicators reveal that ASBP has only average gain and low risk levels. On the other hand, MCS showed that, within the variability under analysis, ASBP will not have any financial liabilities for the farm. Further, risk indexes VaR (*Value at Risk*) and CVaR (*Conditional VaR*), at 5%, produced by 100,000 randomized events by MCS produce good rates to the family production unit. Analysis of results indicate EV of ASBP and its immediate installation recommended.

Keywords: Agriculture-stockbreeding project. Amplified multi-index methodology. Monte Carlo simulation. Photovoltaic solar energy. Small family farm.

Autor correspondente:

Sabrina Nespolo: sabrinespolo@hotmail.com

Recebido em: 06/10/2020

Aceito em: 29/07/2021

¹ Acadêmicas do curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Pato Branco (PR), Brasil.

² Professor do Departamento Acadêmico de Matemática (DAMAT/UTFPR) e docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPs/UTFPR) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Pato Branco (PR), Brasil.

INTRODUÇÃO

A progressiva melhora da qualidade de vida e crescimento econômico da população têm refletido diretamente na expansão do consumo de energia elétrica. Simultaneamente, aspectos negativos se evidenciam, entre eles a possibilidade de escassez dos recursos necessários para a produção de energia e o impacto ao meio ambiente produzido por ela (SOUZA; MASOTTI; GRITTI, 2017; LIMA JÚNIOR *et al.*, 2018).

Nesse contexto, uma maneira moderna e sustentável, mundialmente empregada, para diminuir tais efeitos tem sido o uso eficiente da energia e principalmente o emprego de fontes renováveis. Isso posto, o sistema de produção de energia solar fotovoltaica destaca-se como uma alternativa que tem se tornado promissora no Brasil (LIMA JÚNIOR *et al.*, 2018).

De acordo com Lana *et al.* (2015), a energia solar fotovoltaica é gerada a partir da conversão direta da radiação solar em eletricidade, a qual ocorre por meio de um dispositivo chamado célula fotovoltaica. Por não depender de áreas extensas, não gerar gases nocivos e ter como fonte a radiação do sol, a energia solar é considerada uma energia limpa e sustentável. Além disso, vale destacar que o Brasil possui expressivo potencial para sua geração, dado seus altos níveis de radiação (GOMES *et al.*, 2019). Dessa forma, segundo Dassi *et al.* (2015), a energia solar fotovoltaica é uma fonte de energia com elevado potencial de produção, a qual pode atender à necessidade brasileira de energia.

Ademais, destaca-se que a energia elétrica é um item extremamente essencial à sociedade e não menos importante no meio rural. O sistema de energia solar fotovoltaico pode suprir as necessidades energéticas de produtores rurais pela alimentação elétrica de sistemas automatizados, reduzir custos da fatura de luz daropriedade e até mesmo a geração de energia elétrica onde não há rede distribuidora (ANACLETO *et al.*, 2019). Nesse sentido, Anacleto *et al.* (2019) afirmam que a fonte de energia solar “tem impacto significativo no desenvolvimento do agronegócio e na sociedade do campo”.

Porém, no meio rural, o gasto monetário com energia elétrica é menor, uma vez que as propriedades possuem tarifas subsidiadas. Assim, a atratividade financeira de sistemas fotovoltaicos é menor quando comparada com projeto urbano (DANTAS; POMPERMAYER, 2018). Entretanto, a alternativa dos sistemas fotovoltaicos está sendo considerada e vem crescendo devido ao seu custo de produção (levando em conta o tempo em que o valor investido será recuperado), tendo em vista que, segundo Dantas e Pompermayer (2018), a diminuição dos custos é um dos principais fatores que impulsionam o crescimento do mercado fotovoltaico.

De acordo com levantamentos da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2020a), “os investimentos em energia solar nas propriedades rurais já passam de R\$ 1,7 bilhão no Brasil. Os produtores rurais representam atualmente 11,7% da potência instalada na geração distribuída fotovoltaica no país”. Além disso, outra pesquisa da ABSOLAR (2020b) aponta para uma “predominância dos consumidores de pequeno porte

aderindo à energia solar. Ao todo, 95% das 6.385 unidades consumidoras rurais que instalaram energia solar são de baixa tensão”.

A análise de viabilidade econômica (AVE) é de extrema importância para o sucesso de um Projeto de Investimento (PI) em ativos reais (SOUZA *et al.*, 2020). Segundo Gollo (2017), a AVE auxilia na verificação do retorno esperado para o PI. Além disso, deve-se verificar as condições de riscos associadas à decisão de investimento (LIMA *et al.*, 2017a). Para complementar a AVE, a análise de sensibilidade (AS) proposta por Lima *et al.* (2015) permite identificar os limites em que os principais parâmetros podem variar, sem comprometer a VE do PI em estudo.

Para realizar a AVE deve-se identificar o investimento necessário, os custos de operação e manutenção e as receitas (ou economias) esperadas. Para isso, entende-se o processo estudado, converte-se monetariamente as vantagens e desvantagens, estima-se os custos de implantação, manutenção e operação, identifica-se os riscos associados, considera-se as receitas esperadas, e avalia-se os critérios econômico-financeiros do investimento (SILVA *et al.*, 2019).

Nesse contexto, Lima *et al.* (2017a) acrescentam que existem técnicas que podem ser utilizadas na avaliação dos critérios econômico-financeiros, ou seja, na tomada de decisão de um investimento. Essas são divididas em abordagem determinística, na qual todos os parâmetros de entrada são estáveis. Em contrapartida, tem-se a abordagem estocástica, com a utilização de funções de distribuição de probabilidades. Dentro da abordagem determinística tem-se: Metodologia Clássica (MC), Metodologia Multi-índice (MMI) e Metodologia Multi-Índice Ampliada (MMIA) (LIMA *et al.*, 2015). Por outro lado, dentro da abordagem estocástica destaca-se a Simulação de Monte Carlo - SMC (LIMA *et al.*, 2017a; GUARES *et al.*, 2021).

Em uma ampla busca na literatura, identificou-se somente dois estudos que retratam a VE da implantação de sistema fotovoltaico em propriedade rural: Villalba (2019) e Batistello (2019). Villalba (2019) apresenta duas opções para o investimento inicial (FC_0) de geração de energia fotovoltaica em uma propriedade rural: (i) execução do projeto com recursos próprios (com um horizonte de 25 anos); ou (ii) financiamento obtido via PRONAF-ECO, com juros efetivos de 2,5% ao ano e prazo máximo de financiamento de 10 anos. Os resultados apresentados mostram que ambas as modalidades de execução têm custo de geração de energia do sistema fotovoltaico menor que o valor gerado pela rede elétrica a partir do nono e quinto ano, respectivamente. Villalba (2019) ainda ressalta que a lucratividade do Projeto de Investimento Agropecuário (PIA) é maior quando o investimento inicial (FC_0) ocorre via financiamento.

Por outro lado, Batistello (2019) promoveu uma análise comparativa entre a instalação do sistema fotovoltaico em aviário com um investimento inicial (FC_0) de R\$ 19.852,81, gerando um Valor Presente Líquido (VPL) de aproximadamente R\$ 81.819,00 ou a aplicação do investimento inicial (FC_0) em uma caderneta de poupança previdenciária de banco privado

com juros de 6% ao ano. O autor concluiu que a instalação do sistema tem uma lucratividade de R\$ 17.444,73 a mais que a aplicação na poupança.

Diante do exposto, a revisão da literatura mostrou que existe uma carência de pesquisas sobre a viabilidade econômica (VE) da instalação de sistemas fotovoltaicos em pequenas propriedades rurais no Brasil. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo principal analisar a VE da instalação de um sistema fotovoltaico em uma pequena propriedade rural, localizada na região Sudoeste do Paraná.

O ponto de partida foi estimar os custos de implantação, manutenção e operação do sistema e projetar as economias decorrentes desse PIA. Na sequência, o estudo promoveu uma análise de VE utilizando uma abordagem moderna e consistente para subsidiar a tomada de decisão de investimento. Foi aplicada a Metodologia Multi-índice Ampliada (MMIA) e a Simulação de Monte Carlo (SMC), ambas com suporte da ferramenta *web* de acesso livre \$AVEPI[®] (LIMA *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2017a; LIMA *et al.*, 2017b; GUARES *et al.*, 2021).

Essa moderna AVE com suporte do \$AVEPI[®] (LIMA *et al.*, 2017b) tem sido utilizada com sucesso em diversas aplicações práticas tais como: Lima *et al.* (2016), Gularte *et al.* (2017), Lizot *et al.* (2017), Bernardi *et al.* (2017), Dranka *et al.* (2018), Caricimi e Lima (2018), Goffi *et al.* (2018), Silva *et al.* (2019), Dranka *et al.* (2020), Tonial *et al.* (2020) e Gularte *et al.* (2020).

2 METODOLOGIA

A realização do estudo de caso foi dividida em três macro fases. Em cada fase há diversas etapas, as quais são detalhadas na Figura 1.

Na primeira fase, identificou-se a possibilidade de investir na implantação de um sistema fotovoltaico integrado à rede, buscando contribuir para a redução de custos e aumento do desenvolvimento sustentável da propriedade rural. A próxima etapa constituiu-se no levantamento dos dados do PIA via questionário, o qual foi aplicado de modo presencial. As seguintes questões foram indagadas: (1) Qual é a área produtiva da propriedade rural? (2) Qual a principal atividade agrícola exercida? (3) Quais os valores de consumo e gastos financeiros com energia elétrica? e (4) Quais estruturas fazem uso dessa energia. Utilizou-se um horizonte de análise (N) de 25 anos, com base na taxa de eficiência do equipamento, a qual foi apontada pelo fabricante. Segundo a empresa instaladora, estima-se uma eficiência de 83,89% no 25º ano. Além disso, foi considerada uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) igual a 5% ao ano, com base na média dos últimos dois anos da taxa SELIC (BACEN, 2020). Como imposto foi utilizado o Funrural de 1,5% (FUNRURAL, 2018). Demais valores levantados ou adotados para a condução da pesquisa serão detalhados na seção de resultados.

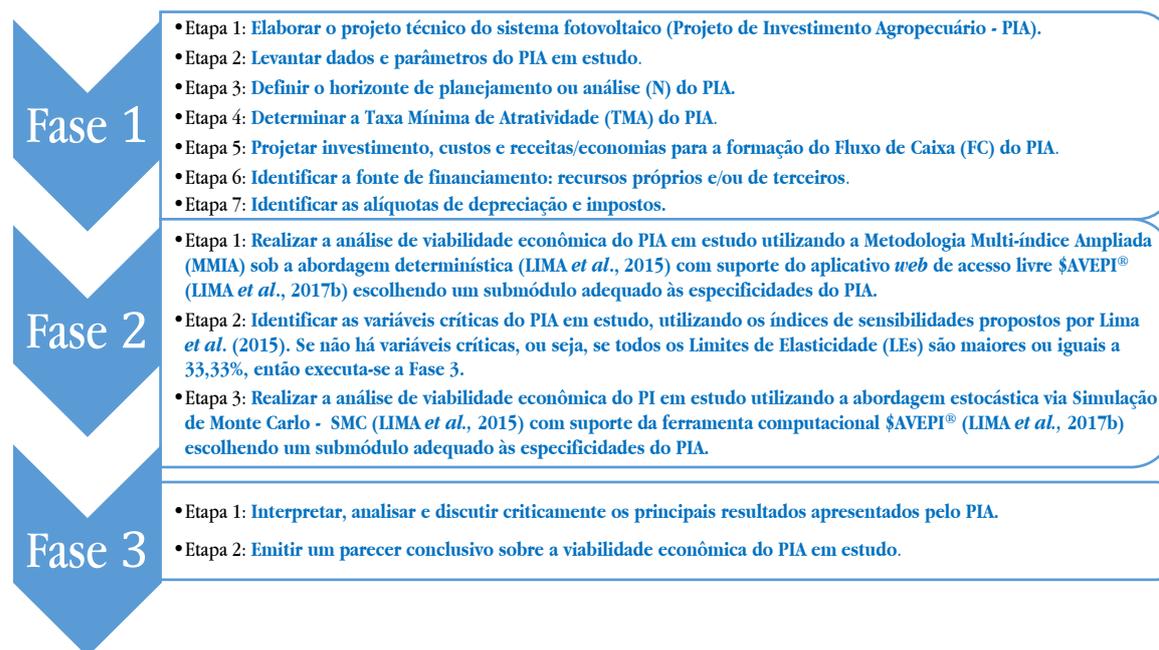


Figura 1. Fases e etapas da realização do estudo
Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2019) e Piovesan *et al.* (2021).

Na segunda fase, aplicou-se a Metodologia Multi-índice Ampliada (MMIA) com suporte do aplicativo *web* \$AVEPI® (LIMA *et al.*, 2017b) para avaliar a viabilidade econômica do PIA sob a abordagem determinística. Contudo, nota-se que o PIA depende exclusivamente do valor total financiado, ou seja, não existe saída de caixa inicial (FCo). Dessa forma, não foi possível averiguar o nível de elasticidade de alguns indicadores (LIMA *et al.*, 2015).

Posto, para aprofundar o estudo, aplicou-se a abordagem estocástica via Simulação de Monte Carlo (SMC) com suporte do \$AVEPI®. Utilizou-se uma distribuição triangular para a TMA, sendo o valor mínimo igual a 2%, o valor mais provável igual a 5% e o valor máximo igual a 10% ao ano. Para o FC, também foi considerada uma distribuição triangular, sendo que o valor mais provável é equivalente ao FC determinístico; para os valores mínimos foram considerados 10% a menos do valor mais provável; e para os valores máximos foram considerados 10% a mais do valor mais provável. Com isso, foi possível avaliar a distribuição de probabilidades do VPL, a possibilidade de o VPL ser menor que 0 (insucesso financeiro), o VaR (*Value at Risk*) e o CVaR (*Conditional Value at Risk*) para o nível de 5% (MORGAN, 1996; ROCKAFELLAR; URYASEV, 2000; 2002; SILVA *et al.*, 2019; GUARES *et al.*, 2021). Vale ressaltar que se utilizou a classificação proposta por Lima *et al.* (2017a) e adotada nos estudos de Guares *et al.* (2021) e Piovesan *et al.* (2021), para categorizar o PIA em termos do grau/nível os indicadores de retorno, riscos e sensibilidades.

Na última Fase, com as informações obtidas foi realizada a análise de forma crítica da viabilidade do PIA com base nos indicadores determinísticos e estocásticos, com foco no retorno esperado e nos riscos associados. Por fim, elaborou-se um parecer conclusivo sobre a viabilidade econômica da implantação do sistema fotovoltaico.

Portanto, os dados coletados foram submetidos à análise de viabilidade econômica (AVE) utilizando a metodologia multi-índice ampliada (MMIA) proposta por Lima *et al.* (2015; 2017a) sob a abordagem determinística (LIMA *et al.*, 2015) e estocástica via simulação de Monte Carlo (SMC) com suporte da ferramenta computacional \$AVEPI® (LIMA *et al.*, 2017b).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma propriedade rural localizada na região Sudoeste do Estado do Paraná está analisando a viabilidade econômica (VE) da implantação de um sistema solar fotovoltaico, no modelo conectado à rede elétrica. Segundo a garantia fornecida pelo fabricante, o sistema possui 25 anos de geração, chegando ao 25º ano com 83,89% de rendimento inicial. Os módulos possuem 10 anos de garantia contra defeitos de fabricação e os inversores possuem 7 anos de garantia. A empresa afirma em contrato: “ao findar a garantia, no entanto, não significa que será necessário trocar o seu sistema”.

De acordo com os dados levantados na unidade de instalação, haverá uma potência instalada de 11,72 kWp. O sistema será capaz de suprir o consumo anual de energia elétrica da propriedade, produzindo 16.855 kWh ao ano. O consumo médio na propriedade foi estimado em 1.365 kWh/mês, gerando um gasto médio 560,02 R\$/mês, equivalente a 16.391 kWh/ano (R\$ 6.720,28), os quais estão sintetizados na Figura 2. Para a implantação desse Projeto de Investimento Agropecuário (PIA) será necessário um investimento inicial (FC_0) de R\$ 46.078,42 para a obtenção e instalação dos equipamentos da usina fotovoltaica, o qual está apresentado na Tabela 1. Do montante a ser investido, 100% podem ser financiados por uma linha de crédito de um banco privado, a qual é vinculada com a empresa que disponibilizou o orçamento, cuja taxa de juros anual é de 4,78%. Para esse financiamento, utilizou-se o sistema PRICE, com prazo máximo de amortização de 5 anos.

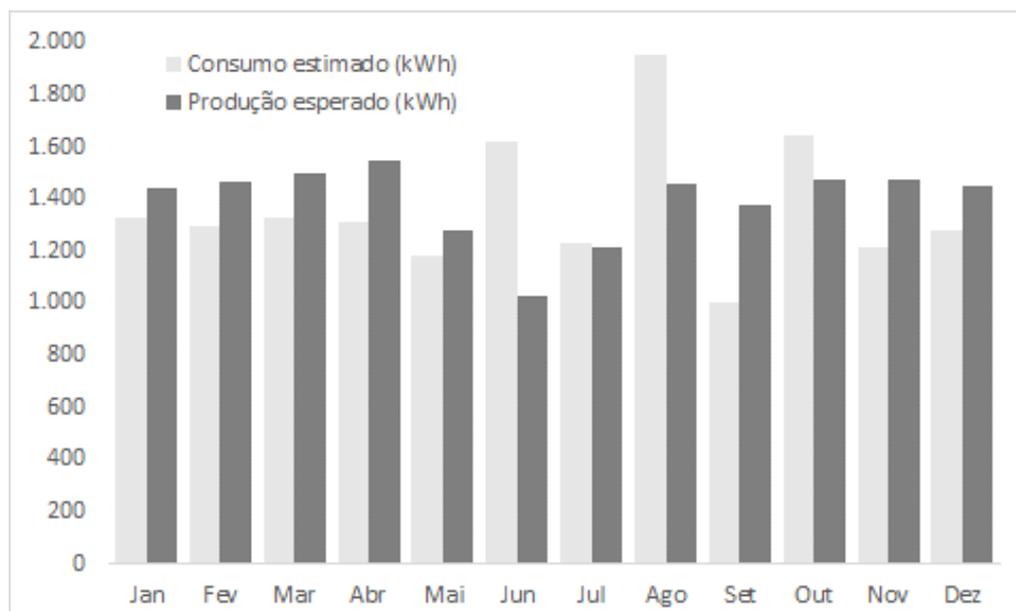


Figura 2. Gráfico do consumo e produção esperados.

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Tabela 1. Materiais necessários e custos para a implantação do sistema

Item	Quantidade
Policristalino risen 335 W	35
Ilumisol sofar 7.5 KTLM	1
Ilumisol sofar 3 KTLM-G2	1
String box	Incluso
Cabo solar 6 mm < preto	Incluso
Cabo solar 6 mm < vermelho	Incluso
Conector mc4 multi-contact UR PV-KBT4/6II-UR acoplador fêmea	Incluso
Conector mc4 multi-contact UR PV-KST4/6II-UR acoplador macho	Incluso
Junção para perfil de alumínio	Incluso
Estrutura de alumínio adequado ao telhado	Incluso
Material elétrico	Incluso
Serviços de instalação do sistema	Incluso
Projeto solar fotovoltaico	Incluso
Arte de projeto e execução	Incluso
Acompanhamento junto à distribuidora	Incluso
Monitoramento do sistema via <i>web</i>	Incluso
Custo total de implantação (FC₀)	R\$ 46.078,42
Custo médio do kWh	R\$ 0,41
Custo mensal para 1.400 kWh	R\$ 574,00
Custo anual para 16.800 kWh	R\$ 6.888,00

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Para a realização do estudo desse PIA, foi considerado que a propriedade rural utiliza 1.400 kWh/mês (16.800 kWh/ano), para a manutenção de funcionamento da unidade produtiva, incluindo a atividade agrícola e a moradia. Conforme exposto na Tabela 1, o custo médio do

kWh foi estimado em R\$ 0,41. Dessa forma, foi projetada uma economia de energia de 574,00 R\$/mês (6.888,00 R\$/anual).

Ao longo do horizonte de análise (N), esse valor é decrescente, posto que a estimativa de produção depende da eficiência técnica (Tabela 2). O Valor Residual (VR) foi igual a zero, pois não se considera a revenda do equipamento após a vida útil de 25 anos. Observa-se que o valor do Fluxo de Caixa (FC) não é constante (Tabela 2), pois depende da eficiência do sistema. Esses cálculos foram realizados com apoio de uma planilha eletrônica. Aplicou-se um prazo de depreciação (Pd) de 10 anos (RFB, 2020), resultando uma depreciação linear (DLj) de R\$ 4.607,84 por ano. Em relação aos dados do financiamento, utilizou-se um percentual financiável de 100%, em um prazo máximo de 5 anos, com uma taxa de juros de 4,78% ao ano. É válido destacar que o sistema de financiamento empregado foi o PRICE, sem período de carência. Acrescenta-se que foi utilizado para o cômputo do tempo de retorno do investimento o *Payback_{fin}*, proposto por Lima *et al.* (2013).

Na sequência, foi projetado o Fluxo de Caixa (FC) do PIA em estudo, o qual está apresentado na Tabela 2. Pode-se observar que ele não é constante, pois depende da eficiência do sistema solar fotovoltaico. De acordo com a empresa fornecedora do orçamento, no 25º ano as placas solares estarão com 83,89% da eficiência inicial. Além disso, no 13º se faz necessária a troca dos inversores de frequência (DRANKA *et al.*, 2018), os quais custam R\$ 13.823,53 (30% do valor do sistema).

Tabela 2. Fluxo de Caixa projetado

Período	Eficiência (%)	Fluxo de Caixa (R\$)	Período	Eficiência (%)	Fluxo de Caixa (R\$)
0	-	-46.078,42	13	91,27	-7.549,15
1	99,30	6.827,48	14	90,63	6.230,29
2	98,60	6.779,27	15	90,00	6.186,90
3	97,91	6.731,74	16	89,37	6143,51
4	97,23	6.684,90	17	88,74	6100,11
5	96,55	6.638,06	18	88,12	6057,41
6	95,87	6.591,23	19	87,51	6015,39
7	95,20	6.545,08	20	86,89	5972,68
8	94,54	6.499,62	21	86,28	5930,67
9	93,87	6.453,47	22	85,68	5889,34
10	93,22	6.408,69	23	85,08	5848,01
11	92,56	6.363,23	24	84,49	5807,37
12	91,92	6.319,15	25	83,89	5766,04

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

3.1 APLICAÇÃO DA ABORDAGEM DETERMINÍSTICA VIA METODOLOGIA MULTI-ÍNDICE AMPLIADA

Nesta fase da pesquisa, aplicou-se a Metodologia Multi-índice Ampliada (MMIA) com suporte do aplicativo *web* de acesso livre \$AVEPI®. Nessa ferramenta computacional foi utilizado o módulo “Abordagem determinística - recursos próprios, financiamento e *leasing* - fluxo de caixa ou custos e receitas”. Como entrada dos dados foram utilizados: Taxa Mínima de Atratividade (TMA) igual a 5%, impostos de 1,5% (FUNRURAL, 2018) e horizonte de planejamento (N) de 25 anos.

Ademais, o investimento inicial (FC_0) foi estimado em R\$ 46.078,42. O valor residual (VR) foi nulo, pois não se considera a revenda dos equipamentos. Observa-se que o valor do Fluxo de Caixa (FC) não é constante, pois depende da eficiência das placas. Aplicou-se um prazo de depreciação de 10 anos (RFB, 2020), resultando uma depreciação linear de R\$ 4.607,84. A modalidade de financiamento foi escolhida para a implantação do PIA, com as seguintes características: (i) percentual financiável de 100%; (ii) prazo máximo de amortização de 5 anos; (iii) taxa de juros de 4,78% ao ano; e (iv) sistema de amortização PRICE, sem período de carência. A Figura 3 apresenta a tela de entrada dos dados (*input*) no \$AVEPI®. Esse sistema produziu os resultados da MMIA, os quais estão dispostos na Tabela 3.

Figura 3. Tela de entrada dos dados no aplicativo *web* \$AVEPI®
Fonte: Elaborada pelos autores no aplicativo *web* \$AVEPI® (2020).

No tocante aos indicadores de retorno da MMIA, obteve-se um Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 36.287,83, equivalente a R\$ 2.574,71 por ano (VPLA). Ressalta-se que não foi possível determinar os valores para os indicadores IBC, ROIA e índice ROIA/TMA, pois eles dependem de um valor de entrada, e, nesse caso, o PIA em estudo será totalmente financiado.

Para os indicadores de riscos, estima-se que o período mínimo de retorno desse PIA ($Payback_{Fin}$) será de 9 anos. Já para a Taxa Interna de Retorno (TIR), obteve-se um valor igual a 19,48% ao ano. Por outro lado, para os índices $Payback_{Fin}/N$ e TMA/TIR projetam-se os

valores de 36% e 25,67%, respectivamente. Isso permite classificar o PIA como de risco baixo (média menor que 33,33%), segundo a escala proposta pela MMIA (LIMA *et al.*, 2017a).

Tabela 3. Dimensões e indicadores da MMIA

Dimensão	Indicadores	Valor esperado
Retorno	VPL (R\$)	36.287,83
	VPLA (R\$)	2.574,71
	IBC	Não existe
	ROIA (%)	Não existe
	Índice ROIA/TMA (%)	Não existe
Riscos	Payback _{Fin} (anos)	9
	TIR (%)	19,48
	Índice Payback _{Fin} /N (%)	36
	TMA/TIR (%)	25,67
Limites de Elasticidade	$\Delta\%TMA$	289,63
	$\Delta\%FC_0$	Não existe
	$\Delta\%FC_j$	Não existe

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Em relação aos Limites de Elasticidade (LEs), observou-se um valor de 289,63% para a variação da TMA, mostrando que ela pode chegar até 19,48% (TIR), mantendo o PIA economicamente viável, representando uma baixa sensibilidade, ou seja, grau de elasticidade excelente. Por outro lado, os índices variação percentual do investimento inicial ($\Delta\%FC_0$) e do FC por ano ($\Delta\%FC_j$) não apresentaram valores, pois dependem do IBC.

A partir da análise conjunta das 3 dimensões da MMIA (retorno, riscos e sensibilidades) depreende-se a necessidade de uso da Simulação de Monte Carlo (SMC) para melhor subsidiar a tomada de decisão da implantação do sistema fotovoltaico na propriedade rural em estudo. Os resultados observados com a aplicação da SMC são apresentados na próxima seção.

3.2 APLICAÇÃO DA ABORDAGEM ESTOCÁSTICA VIA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

Para que a tomada de decisão de um investimento seja mais assertiva, utilizou-se a abordagem determinística, seguida da estocástica via SMC. Destarte que, por meio da SMC, é possível obter um conjunto de resultados, ao invés de apenas um valor pontual, como na abordagem determinística. No aplicativo \$AVEPI[®], utilizou-se o módulo “Abordagem estocástica - SMC”, realizando 100.000 simulações. Na Figura 4, apresenta-se os dados de entrada (*input*) no \$AVEPI[®]. Utilizou-se uma distribuição triangular para a TMA, sendo com

os parâmetros 2%; 5%; 10%. Para o FC foi considerada uma distribuição triangular com os parâmetros 90% do valor base; valor base; 110% do valor base.

A Figura 5 apresenta a distribuição de probabilidades com intervalo de 90% para o VPL, considerando as 100.000 simulações realizadas. Dessa forma, observa-se que a probabilidade de o VPL estar entre R\$ 17.612,92 e 49.586,12 é de 90%. Na abordagem determinística, o valor obtido para o VPL foi de R\$ 36.287,83, estando entre os valores de VPL esperados.

Na Tabela 5 estão as estatísticas descritivas obtidas pela SMC. Nota-se uma variação dos valores do VPL entre R\$ 12.884,91 (valor mínimo) e R\$ 64.614,83 (valor máximo). Consta-se que, para o PIA avaliado, não existe probabilidade de o VPL ser negativo, ou seja, mesmo em um cenário extremamente desfavorável, o investimento não apresentará prejuízo.

A expectativa de retorno é de R\$ 33.563,92 (VPL médio), porém existem 5% de probabilidade de se obter um retorno menor que R\$ 17.612,92 (VaR). Segundo Silva *et al.* (2019), o VaR (5%) indica um valor mínimo de retorno esperado dentro dessa probabilidade. Dentro da região do VaR, a média de obtenção de retorno foi de 16.419,02 (CVaR), levando em consideração que o indicador CVaR é a média da distribuição do VPL para o nível de 5% (SILVA *et al.*, 2019). Como os valores obtidos pelo VaR (5%) e CVaR (5%) foram positivos, tem-se que, mesmo em cenários desfavoráveis, o PIA apresentará um retorno positivo.

Figura 4. Tela de entrada dos dados no aplicativo *web* \$AVEPI®
Fonte: Elaborada pelos autores no aplicativo *web* \$AVEPI® (2020).



Figura 5. Distribuição de Probabilidades do VPL segundo a SMC.

Fonte: Elaborada pelos autores no aplicativo *web \$AVEPI*[®] (2020).

Tabela 5. Estatísticas via SMC

	Estatística	VPL
Descritiva	Mínimo	R\$ 12.884,91
	Máximo	R\$ 64.614,83
	Amplitude (Máx-Mín)	R\$ 51.729,92
	Média	R\$ 33.563,92
	Desvio-padrão	R\$ 9.707,72
	Coefficiente de variação	28,92%
Inferencial	VaR (5%)	R\$ 17.612,92
	CVaR (5%)	R\$ 16.419,02
	P (VPL < 0)	0%

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

3.3 PARECER CONCLUSIVO

No aspecto econômico-financeiro, a implantação do sistema solar fotovoltaico mostrou-se economicamente viável. A partir dos resultados gerados pela MMIA e SMC com suporte do aplicativo *web \$AVEPI*[®] verificou-se que todos os indicadores foram positivos. Os indicadores da dimensão riscos mostraram que o PIA apresenta nível baixo, apresentando o retorno do capital investido em 9 anos. Acrescenta-se que os índices $Payback_{Fin}/N$ e TMA/TIR ficaram em 36% e 25,67%, respectivamente, caracterizados o PIA como de nível de risco baixo (LIMA *et al.*, 2017a). Sobre o índice de elasticidade, verificou-se que a TMA pode variar na ordem de 289,63%, ou seja, a sensibilidade é baixa.

Para melhor avaliação dos riscos envolvidos no PIA, utilizou-se a SMC. Em 100.000 simulações, observou-se que o VPL médio encontrado é próximo do valor encontrado na abordagem determinística. Ao observar os índices VaR e CVaR, no nível de 5%, concluiu-se que mesmo nos piores cenários considerados o PIA tem um retorno expressivo para a realidade da unidade de produção familiar.

O confronto com a literatura ficou prejudicado pois encontrou-se apenas os estudos de Villalba (2019) e Batistello (2019) versando sobre a implantação de usina fotovoltaica em propriedade rural. Observa-se que em PIAs sobre a implantação desse tipo de sistema o financiamento produz uma lucratividade maior, quando comparado com recursos próprios,

como demonstra o trabalho de Villalba (2019). Ademais, nota-se que, de acordo com o trabalho de Batistello (2019), a implantação do sistema garante uma lucratividade de R\$ 17.444,73 a mais que uma aplicação de investimento na poupança.

Vale ressaltar que no presente estudo realizou-se um comparativo entre as modalidades recursos próprios e de terceiros, mas o financiamento apresentou melhores resultados, ou seja, maior grau de retorno e menores níveis de riscos e sensibilidades. Esses resultados foram produzidos automaticamente pelo \$AVEPI[®], porém, foram omitidos por questão de espaço e objetividade.

Portanto, ao realizar o confronto entre o retorno esperado e os riscos inerentes à instalação da usina fotovoltaica, recomenda-se a execução do PIA na propriedade familiar foco do estudo. Além disso, recomenda-se realizar um acompanhamento do desempenho real desse sistema para, no final do horizonte de análise, realizar um confronto entre os valores projetados e os observados.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo a avaliação de um PIA visando diminuir os gastos com energia elétrica em uma pequena propriedade rural familiar, implantando um sistema fotovoltaico. Para análise deste estudo, foram levantados os dados de consumo e gastos com energia, projetando o fluxo de caixa, avaliando a viabilidade econômica, e, por fim, realizado um parecer conclusivo. Dessa forma, para verificar a viabilidade do projeto, utilizou-se os indicadores de retorno, riscos e sensibilidades ambos pertencentes à MMIA. Além disso, foi realizada uma análise de risco via simulação de Monte Carlo.

Enfatiza-se que a variação percentual sobre a TMA apresentou um grau de elasticidade excelente, ou seja, o valor percentual pode ter uma oscilação expressiva e ainda manterá o PIA economicamente viável. Os índices $Payback_{Fin}/N$ e TMA/TIR também representam graus de riscos baixos, ou seja, baixa possibilidade de apresentar prejuízos e ser inviável economicamente.

Com base nos valores obtidos, indica-se a viabilidade econômica do investimento. É notório que os indicadores de retorno e riscos, assim como as probabilidades geradas na SMC, são satisfatórios. É válido destacar que a SMC auxiliou na tomada da decisão, dado que essa técnica produz um conjunto de resultados, ao invés de um valor pontual.

Dessa forma, recomenda-se a implantação do sistema solar fotovoltaico, uma vez que traz retorno financeiro ao longo do tempo, como também, sustentabilidade ao ecossistema, demonstrando assim sua contribuição para a comunidade científica. Por fim, sugere-se para trabalhos futuros a realização de estudos de viabilidade econômica na implantação de usinas fotovoltaicas em outras regiões com condições climáticas diferentes.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Energia solar ganhará novo impulso no campo com mais recursos do plano safra 2020-2021**, 2020a. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/energia-solar-ganhara-novo-impulso-no-campo-com-mais-recursos-do-plano-safra-2020-2021.html>. Acesso em: 30 ago. 2020.
- ABSOLAR. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Energia solar em propriedades rurais cresce 120% no 1º semestre de 2020**, 2020b. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/energia-solar-em-propriedades-rurais-cresce-120-no-1o-semester-de-2020.html>. Acesso em: 30 ago. 2020. Acesso em: 21 set. 2020.
- ANACLETO, K. B.; CALÇA, M. V. C.; RANIERO, M. R.; PAI, A. D. L. Aspectos Jurídicos da Energia Solar Fotovoltaica e sua Influência no Meio Rural. In: STRICKLER, A. *et al.* (org.). **Ciência, Tecnologia e Inovação: desafio para um mundo global**. 2. ed. Ponta Grossa: Atena, 2019. Cap. 26. p. 256-262. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Marcus_Calca2/publication/335394735_ASPECTOS_JURIDICOS_DA_ENERGIA_SOLAR_FOTOVOLTAICA_E_SUA_INFLUENCIA_NO_MEIO_RURAL/links/5d667cf6299bf11adf27509e/ASPECTOS-JURIDICOS-DA-ENERGIA-SOLAR-FOTOVOLTAICA-E-SUA-INFLUENCIA-NO-MEIO-RURAL.pdf. Acesso em: 24 set. 2020.
- BACEN. Banco Central do Brasil. **Atas do Comitê de Política Econômica**. 2020. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br/>. Acesso em: ago. 2020.
- BATISTELLO, S. **Viabilidade de implantação de sistemas fotovoltaicos em aviários no Rio Grande do Sul**. 2019. 94f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário UNIFACVEST, Lages, SC. Disponível em: <https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/b8900-batistello,-s.viabilidade-de-implantacao-de-sistemas-fotovoltaicos-em-aviarios-no-rs.-tcc,-2019.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2020.
- BERNARDI, A.; LIMA, J. D.; OLIVEIRA, G. A.; TRENTIN, M. G. Análise de investimento em segregação de milho: estudo de caso em agroindústria produtora de ração para frangos de corte. **Custos e agronegócio on line**, v. 13, n. 4, p. 147-171, set./dez. 2017. Disponível em: <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero4v13/OK%208%20milho.pdf>. Acesso em: ago. 2020.
- CARICIMI, R.; LIMA, J. D. Economic analysis for small hydroelectric power plant using extended multi-index methodology: an approach stochastic by the Monte Carlo Simulation. **IEEE Latin America Transactions**, v. 16, n. 8, p. 2184-2191, Aug. 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8528233>. Acesso em: 03 set. 2020.
- DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Rio de Janeiro: Ipea, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8400/1/TD2388.pdf>. Acesso em: 03 set. 2020.
- DASSI, J. A.; ZANIN, A.; BAGATINI, F. M.; TIBOLA, A.; BARICHELLO, R.; MOURA, G. D. Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma

instituição de ensino superior do sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 26., 2015, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Curitiba, 2015. p. 1-16. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/3924>. Acesso em: 23 set. 2020.

DRANKA, G. G.; CUNHA, J.; LIMA, J. D.; FERREIRA, P. Economic evaluation methodologies for renewable energy projects. **AIMS Energy**, v. 8, n. 2, p. 339-363. 2020. Disponível em: <http://www.aimspress.com/article/10.3934/energy.2020.2.339>. Acesso em: 25 set. 2020.

DRANKA, G. G.; LIMA, J. D.; BONOTTO, R.; MACHADO, R. Economic and Risk Analysis of Small-Scale PV Systems in Brazil. **IEEE Latin America Transactions**, v. 16, n. 10, p. 2.530-2.538, Oct. 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8795132>. Acesso em: 24 set. 2020.

FUNRURAL. **Fundo de Assistência ao Trabalhador Rural**. Disponível em: <http://www.mixfiscal.com.br/funrural-alteracao-de-aliquota-em-2018/>. Acesso em: ago. 2020.

GOFFI, A. S.; TROJAN, F.; LIMA, J. D.; LIZOT, M.; THESARI, S. S. Economic Feasibility for Selecting Wastewater Treatment Systems. **Water Science and Technology**, v. 78, n. 12. p. 2518-2531, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2019.012>.

GOLLO, V. Análise da viabilidade econômico-financeira das atividades leiteira e suinícola em uma propriedade rural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 24, 2017, Florianópolis. **Anais [...]**. São Leopoldo: Associação Brasileira de Custos, 2017. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/download/4289/4289>. Acesso em: 20 ago. 2020.

GOMES, A. C.; GONÇALVES, G. B.; GANEM, M. A. S. D.; WANDERLEY, V. de S. A.; MATOS, V. S.; CORTES, L. R. C. C.; ROCHA, A. N. Determinação do potencial fotovoltaico da região Sul do Brasil. In: CONFERÊNCIA DE ESTUDOS EM ENGENHARIA ELÉTRICA, 28, 2019, Uberlândia. **Anais [...]**. 2019, p. 1-17. Disponível em: <https://www.peteletricaufu.com/static/ceel/artigos/artigo398.pdf>. Acesso em: 24 set. 2020.

GUARES, S. A.; LIMA, J. D. de; OLIVEIRA, G. A. Techno-economic model to appraise the use of cattle manure in biodigesters in the generation of electric energy and biofertilizer. **Biomass and Bioenergy**, v. 150, p. 1-11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106107>.

GULARTE, L. C. P.; LIMA, J. D. de; BARICHELLO, R.; OLIVEIRA, G. A.; PINTO, M. A. N. Modelo de avaliação da viabilidade econômico-financeira da implantação de usinas de reciclagem de resíduos da construção civil em municípios brasileiros. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 2, mar./abr. 2020, p. 281-291. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v25n2/1809-4457-esa-25-02-281.pdf>. Acesso em: 24 set. 2020.

GULARTE, L. C. P.; LIMA, J. D. de; OLIVEIRA, G. A.; TRENTIN, M. G.; SETTI, D. Estudo de viabilidade econômica da implantação de uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil no município de Pato Branco - PR utilizando a metodologia multi-índice ampliada. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 5, set./nov. 2017, p. 985-992. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017162097>. ISSN 1413-4152.

LIMA JÚNIOR, C. L.; RODRIGUES, B. B.; SILVA, F. V. V.; LUZ, L. R.; LIMA, R. L. F. de A. Energia solar: metodologia para avaliação do local de instalação de sistema fotovoltaico fomentando a Educação Ambiental. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 13, n. 3, p. 233-244, 2018. Disponível em:

<http://revbea.emnuvens.com.br/revbea/article/view/5241>. Acesso em: 20 set. 2020.

LANA, L. T. C.; ALMEIDA, E.; DIAS, F. C. L. S.; ROSA, A. C.; SANTOS, O. C. E.; SACRAMENTO, T. C. B.; BRAZ, K. T. M. Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. **Engenharias online**, v. 1, n. 2, p. 21-33, 2015. Disponível em:

<http://fumeec.br/revistas/eol/article/view/3574>. Acesso em: 23 set. 2020.

LIMA, J. D.; ALBANO, J. C. S.; BATISTUS, D. R.; SACRAMENTO, T. C. B.; BRAZ, K. T. M. Estudo de viabilidade econômica da expansão e automatização do setor de embalagem em agroindústria avícola. **Custos e agronegócio on line**, v. 12, n. 1, 2016. p. 89-112.

Disponível em: <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero1v12/OK%20%20automatizacao.pdf>. Acesso em: ago. 2020.

LIMA, J. D.; BENNEMANN, M.; SOUTHER, L. F. P.; BATISTUS, D. R.; OLIVEIRA, G. A. \$AVEPI - Web System to Support the Teaching and Learning Process in Engineering Economics. **Brazilian Journal of Operations and Production Management**, v. 14, n. 4, p. 469-485, 2017b. Disponível em: <https://bjopm.emnuvens.com.br/bjopm/article/view/383>.

Acesso em: ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.14488/BJOPM.2017.v14.n4.a4>.

LIMA, J. D.; SHEITT, L. C.; BOSCHI, T. de F.; SILVA, N. J. da; MEIRA, A. A. de; DIAS, G. H. Propostas de ajuste no cálculo do Payback de projetos de investimentos financiados.

Custos e agronegócio on line. v. 9, n. 4, out./dez., p. 162-180. 2013. Disponível em:

<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero4v9/calculo%20payback.pdf>. Acesso em: ago. 2020.

LIMA, J. D.; TRENTIN, M. G.; OLIVEIRA, G. A.; BATISTUS, D. R.; SETTI, D. A systematic approach for the analysis of the economic viability of investment projects. **Int. J. Engineering Management and Economics**, v. 5, n. 1/2, p. 19-34, 2015. Disponível em:

<http://www.inderscience.com/offer.php?id=69887>. Acesso em: ago. 2020.

LIMA, J. D.; TRENTIN, M.; ADAMCZUK, G.; BATISTUS, D. R.; SETTI, D. Systematic analysis of economic viability with stochastic approach: a proposal for investment. *In*: AMORIM, M.; FERREIRA, C.; VIEIRA JUNIOR, M.; PRADO, C. (ed.). **Engineering systems and networks: the way ahead for industrial engineering and operations management**. Switzerland: Springer International Publishing, 2017a. v. 10, p. 317-325. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-45748-2>

LIZOT, M.; ANDRADE, J. P. P. de; LIMA, J. D. de; TRENTIN, M.; SETTI, D. Análise econômica da produção de aveia preta para pastejo e ensilagem utilizando a metodologia multi-índice ampliada. **Custos e agronegócio on line**, v. 13, n. 2, p. 141-155, 2017.

Disponível em:

<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero2v13/OK%20%20silagem.pdf>. Acesso em: ago. 2020.

MORGAN, B. J. P. **Risk Metrics**. Technical Manual. 4th ed. New York: J. P. Morgan, 1996. Disponível em: <https://www.msci.com/documents/10199/5915b101-4206-4ba0-ae2-3449d5c7e95a>. Acesso em: ago. 2020. 296p.

PIOVESAN, G. T.; LIMA, J. D. de; OLIVEIRA, G. A. Uma abordagem multi-índice na análise de custos e investimentos na automação de equipamentos de sanitização na indústria de rações. **Custos e Agronegocio On Line**, v. 17, n. 1, p. 145-165, 2021. Disponível em: <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero1v17/OK%207%20automacao.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2021.

RFB. Receita Federal do Brasil. **Depreciação**. 2020. Disponível em: <http://www.receita.fazenda.gov.br>. Acesso em: ago. 2020.

ROCKAFELLAR, R. T.; URYASEV, S. Conditional Value-at-Risk for general loss distributions. **Journal of Banking & Finance**, v. 26, n. 7 p. 1443-1471, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-4266\(02\)00271-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4266(02)00271-6).

ROCKAFELLAR, R. T.; URYASEV, S. Optimization of Conditional Value-at-Risk. **The Journal of Risk**, v. 2, n. 3, p. 21-41, 2000. Disponível em: https://www.ise.ufl.edu/uryasev/files/2011/11/CVaR1_JOR.pdf. Acesso em: 02 set. 2020.

SILVA, K. P. da; LIMA, J. D. de; MALACARNE, K.; CARINIMI, R. Análise da viabilidade econômica da automação de processo: estudo de caso em uma cooperativa agroindustrial avícola. **Custos e agronegócio On Line**, v. 15, Ed. Especial. Abr. p. 537-555, 2019. Disponível em: <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/especialv15/OK%2020%20processos.pdf>. Acesso em: ago. 2020.

SOUZA, A.; OLIVEIRA, A. M. M.; FOSSILE, D. K.; ÓGUCHI OGU, E.; DALAZEN, L. L.; VEIGA, C. P. Business Plan Analysis Using Multi-Index Methodology: Expectations of Return and Perceived Risks. **SAGE OPEN**, v. 10, p. 1-15, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/2158244019900171>. Acesso em: 30 set. 2020.

SOUZA, R. O.; MASOTTI, D. R.; GRITTI, T. R. Estudo da Aplicação de Energia Solar Fotovoltaica no segmento de negócios SOHO - Small Office Home Office. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Matão, v. 6, p. 51-54, 2017. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid. Acesso em: 30 set. 2020.

TONIAL, C. H.; RODRIGUES, M. F. F.; BOSSE, M. A.; SOUSA, I. M. O.; LIMA, J. D.; CUNHA, M. A. A.; FOGLIO, M. A.; MARQUES, M. O. M.; MARCHESE, J. A. Technical and economic evaluation of cultivation and obtaining of *Varronia curassavica* Jacq. essential oil. **Industrial Crops and Products**, v. 154, p. 1-12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112650>.

VILLALBA, F. D. C. **Análise de viabilidade técnica e econômica de um projeto de sistema fotovoltaico para uma unidade de agricultura familiar em Foz do Iguaçu/PR**. 2019. 18f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território, Foz do Iguaçu, 2019. Disponível em: https://dspace.unila.edu.br/bitstream/handle/123456789/5096/TCC%20II_Fernando%20Cespedes_Version%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 22 ago. 2020.