

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Romulo Eduardo Lauxen

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE CÉLULAS
DE SOLDAGEM ROBOTIZADAS EM UMA EMPRESA DE MÁQUINAS
E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS**

Santa Maria, RS

2021

Romulo Eduardo Lauxen

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE CÉLULAS DE
SOLDAGEM ROBOTIZADAS EM UMA EMPRESA DE MÁQUINAS E
IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia de Produção**.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Roos

Santa Maria, RS
2021

VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE CÉLULAS DE SOLDAGEM ROBOTIZADAS EM UMA EMPRESA DE MÁQUINAS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS

ECONOMIC VIABILITY OF IMPLANTING ROBOTIC WELDING CELLS IN A COMPANY OF AGRICULTURAL MACHINERY AND IMPLEMENTS

Romulo Eduardo Lauxen¹, Cristiano Roos²

RESUMO

A automatização dos processos produtivos é cada vez mais, um fator imprescindível para as empresas se manterem competitivas no mercado. Neste contexto, o problema de pesquisa deste trabalho é baseado na pergunta: utilizar células de soldagem robotizadas ao invés de colaboradores é viável economicamente para uma empresa de máquinas e implementos agrícolas de médio porte? Assim, o objetivo geral é realizar um estudo de viabilidade econômica da implementação de células de soldagem robotizadas em uma empresa de máquinas e implementos agrícolas. Para isso, foram utilizados procedimentos metodológicos de modelagem e simulação. Foram simulados ao todo 18 cenários considerando diferentes níveis de automatização, os custos de aquisição e manutenção das células de soldagem robotizadas e a Taxa Mínima de Atratividade - TMA da empresa. Os métodos de análise econômica utilizados nas simulações foram Payback Simples, Payback Descontado, Taxa Interna de Retorno - TIR e Valor Presente Líquido - VPL. Como conclusão obteve-se que somente um cenário é viável considerando a TMA da empresa, e outro dois são viáveis considerando uma redução da TMA.

Descritores: Engenharia econômica; Análise de investimento; Células de soldagem robotizadas.

ABSTRACT

The automation of production processes is increasingly an essential factor for companies to remain competitive in the market. In this context, the research problem of this work is based on the question: is using robotic welding cells instead of collaborators economically viable for medium-sized agricultural machinery and implement company? Thus, the general objective is to carry out an economic feasibility study for the implementation of robotic welding cells in agricultural machinery and implement company. For this, methodological procedures of modeling and simulation were used. Eighteen scenarios were simulated considering different levels of automation, the costs of acquisition and maintenance of robotic welding cells and the company's Minimum Attractive Rate of Return - MARR. The economic analysis methods used in the simulations were Simple Payback, Discounted Payback, Internal Rate of Return - IRR and Net Present Value - NPV. In a conclusion, it was found that only one scenario is viable considering the company's MARR, and two others are viable considering a reduction in MARR.

Keywords: Economic engineering; Investment analysis; Robotic welding cells.

¹ Graduando em Bacharel de Engenharia de Produção, autor; Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Centro de Tecnologia – UFSM

² Engenheiro de Produção, orientador; Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina; Professor do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas – UFSM

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da automação nos processos produtivos e o surgimento da Indústria 4.0 torna-se fundamental o acompanhamento desses temas pelas empresas para manterem-se competitivas no mercado. O conceito geral da Indústria 4.0 foi introduzido primeiramente pelo programa do governo alemão para caracterizar uma mudança de paradigma em direção a um futuro digital na produção industrial e aumentar a competitividade da indústria de transformação (EBRAHIMI; BABOLI; ROTHER, 2018). A Indústria 4.0 envolve o uso de tecnologias avançadas de informação e comunicação (TIC) para aumentar o grau de automação e digitalização dos processos de produção, manufatura e industriais.

Assim, uma das tecnologias para implementar a Indústria 4.0 é o uso de robôs em diversas etapas da produção. É importante frisar que o uso da robótica não é parte apenas das grandes multinacionais, ela pode ser adotada por pequenas e médias empresas, visando futuramente uma automação e integração de todo o processo produtivo. Dessa maneira, os impactos serão sobre a produtividade, a redução de custos, o controle do processo produtivo, a customização da produção, dentre outros. Segundo Rotta (2017), em levantamento para a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, a estimativa anual de redução de custos industriais no Brasil, com a migração da indústria para o conceito 4.0, será de, no mínimo, R\$ 73 bilhões por ano.

Tratando-se especificamente do setor de soldagem, um dos benefícios de usar uma das tecnologias da Indústria 4.0, é a possibilidade de o processo de solda ser totalmente executado por robôs. Dessa maneira, o colaborador da empresa passa a ter como função monitorar o processo a fim de garantir que tudo esteja funcionando corretamente, diminuindo, assim, os custos de produção. Segundo Fochesatto, em entrevista para A Voz da Indústria (2018), robôs têm a capacidade de fazer soldas idênticas, garantindo a repetibilidade com pouca supervisão, eliminando problemas de excesso de solda e os custos com desperdícios de material gerados nos processos convencionais. Desse contexto introdutório, surge o problema de pesquisa que originou este trabalho.

1.1 DEFINIÇÃO DO TEMA E DO PROBLEMA DA PESQUISA

A presente pesquisa tem como tema a Engenharia Econômica aplicada na implementação de células de soldagem robotizadas em uma empresa de máquinas e

implementos agrícolas. Este tema de pesquisa está baseado no questionamento originado em um contexto prático e aplicado que pode ser descrito da seguinte maneira: Utilizar células de soldagem robotizadas ao invés de colaboradores é viável economicamente para uma empresa de máquinas e implementos agrícolas de médio porte?

Esta oportunidade de pesquisa pode se sustentar pelo fato de haver poucos trabalhos aplicados que envolvam o estudo de viabilidade econômica da implementação de células de soldagem robotizadas em empresas de máquinas e implementos agrícolas.

1.2 JUSTIFICATIVAS

A principal justificativa para este trabalho é uma possível redução de custos em longo prazo para a empresa em questão, bem como o aumento da produtividade e o nível de qualidade das peças produzidas no setor de soldagem da fábrica. Isso porque as vantagens decorrentes da utilização de robôs industriais são numerosas. Entre elas destacam-se o aumento da produtividade, a melhoria e a consistência na qualidade final de um produto, a minimização de operações, a menor demanda de contratação de mão de obra especializada, a operação em ambientes perigosos ou em tarefas desagradáveis e repetitivas para o ser humano e, finalmente, a capacidade de trabalho por longos períodos sem interrupção (ROSÁRIO, 2005).

Paralelamente, percebe-se que, conforme ocorre o aumento da exigência vinda dos consumidores e a pressão dos clientes por preços mais competitivos, a automação industrial é uma importante estratégia para dar suporte à produção. A eliminação de perdas no processo produtivo, possibilitados pela inserção de conceitos de automação, eleva os níveis de competitividade das empresas no mercado global, agregando qualidade aos produtos, como consequência de um processo padronizado (BONETTI; SOUZA, 2013).

Além disso, este trabalho pode contribuir para o tema Indústria 4.0, especificamente ao analisar economicamente e tecnicamente o uso de soldagem robotizada, visto que ainda há poucos trabalhos aplicados nesta área.

1.3 OBJETIVOS

Nesse contexto, o objetivo geral desta pesquisa é realizar um estudo de viabilidade econômica da implementação de células de soldagem robotizadas em uma empresa de

máquinas e implementos agrícolas. Para alcançar esse objetivo, foram elencados os seguintes objetivos específicos:

- a) Coletar dados sobre o sistema produtivo da empresa onde o estudo será realizado;
- b) Buscar dados técnicos e econômicos sobre células de soldagem robotizadas aplicáveis ao caso;
- c) Analisar a viabilidade técnica de aplicação dessas células;
- d) Aplicar métodos de análise econômica para concluir a respeito da viabilidade econômica da utilização dessas células.

Com estes aspectos iniciais em mente, segue-se para a próxima seção deste trabalho que é o referencial teórico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico aborda as definições de indústria 4.0 e a sua relação com robôs. Além disso, serão apresentadas as definições de Engenharia Econômica, Análise de Investimentos, Taxa Mínima de Atratividade, Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno, *Payback* Simples e *Payback* Descontado. Na sequência, aborda estudos onde foi utilizada a Engenharia Econômica aplicada em robôs na indústria.

2.1 INDÚSTRIA 4.0 E ROBÔS

Diante do avanço tecnológico, há o aparecimento de ideias e soluções para tornar diversas atividades da sociedade mais eficientes (PEREIRA; SILVA, 2010). A indústria surgiu como um campo natural para a implantação dessas inovações tecnológicas (FUKUDA; MARIZ; MESQUITA, 2017). Dentro desse contexto, surgiu a Indústria 4.0, que representa um conjunto de avanços tecnológicos que proporcionam redes inteligentes, nas quais máquinas e produtos em processo interagem sem a necessidade de intervenção humana (FUKUDA; MARIZ; MESQUITA, 2017). Tais redes permitem a troca de informações instantaneamente entre as unidades da empresa, o que pode otimizar decisões ao longo da cadeia de suprimentos, como também permitir a efetivação de uma combinação da produção em massa e customizada (IVANOV et al., 2016).

Para sua existência, a Indústria 4.0 é fundamentada em alguns pilares essenciais. Big data, simulação, manufatura aditiva, robôs autônomos, realidade aumentada, computação em

nuvem e segurança cibernética, Internet das Coisas (IoT) e integração de sistemas são as tecnologias usadas para a implementação da Indústria 4.0 (MOKTADIR et al., 2018).

Os robôs industriais, que são um dos principais impulsionadores da Indústria 4.0, evoluíram consideravelmente nas últimas décadas do século XX. Eles estão se tornando mais produtivos, flexíveis, versáteis, mais seguros e colaborativos e, portanto, criando um nível de valor sem precedentes em todo o ecossistema (BAHRIN et al., 2016).

Os robôs desempenham um papel importante na indústria manufatureira moderna. Assim, eles contribuem para uma face essencial da Indústria 4.0, que são os métodos de produção autônomos, alimentados por robôs que podem concluir tarefas de maneira inteligente, com foco em segurança, flexibilidade, versatilidade e colaboração (BAHRIN et al., 2016).

Nesse ínterim, com a Indústria 4.0, o uso de robôs será ainda maior. A robótica terá um papel fundamental. Tecnologias e soluções inovadoras, tradicionalmente associadas ao setor de robótica de serviços, migrarão para robôs industriais mais inteligentes, que se beneficiarão de uma gama muito mais ampla de tecnologias, permitindo níveis mais altos de destreza e flexibilidade (GRAU et al., 2017).

Dessa forma, torna-se evidente que a automação e a robótica industrial estão claramente em ascensão na indústria e, cada vez mais, nos ambientes cotidianos. De acordo com a *International Federation of Robotics* (2019), no final do ano de 2018, as vendas de robôs aumentaram em 6% em comparação ao ano anterior, totalizando 422.271 unidades. Além disso, a previsão para o ano de 2022 é que sejam vendidas 583.520 unidades. O que esclarece que a demanda por robôs industriais aumentou devido à tendência em direção à automação entre os fabricantes. A robótica industrial e a automação prometem inúmeros benefícios, como tempo de ciclo parcial reduzido, menor taxa de defeitos, maior qualidade e confiabilidade, menor desperdício e melhor utilização do espaço, tornando indispensável fabricantes de classe mundial (ESMAEILIAN; BEHDAD; WANG, 2016).

2.2 ENGENHARIA ECONÔMICA E MÉTODOS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS

A Engenharia Econômica pode ser definida como um conjunto de informações precisas para a tomada de decisão sobre investimentos (ALVES; MATTOS; AZEVEDO, 2017). De acordo com Blank e Tarquin (2012), a Engenharia Econômica envolve formular, estimar e avaliar os resultados econômicos quando alternativas para realizar determinado propósito estão disponíveis. Outra maneira de definir Engenharia Econômica é considerá-la

um conjunto de técnicas matemáticas que simplificam a comparação econômica (BLANK; TARQUIN, 2012).

O principal objetivo da análise de investimentos é fornecer uma estimativa do valor adicionado ao negócio de uma companhia ou de uma pessoa diante de uma oportunidade (GONÇALVES et al., 2009). Hirschfeld (2000) escreve que o estudo de viabilidade consiste na análise de um empreendimento a fim de justificar a sua execução, segundo critérios jurídicos, técnicos, comerciais, econômicos e administrativos que visam auxiliar o processo de decisão da alocação de recursos.

São quatro os métodos de análise de investimentos que serão abordados neste trabalho: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Payback Simples (PBS), e Payback Descontado (PBD). Contudo, é necessário antes apresentar um conceito complementar para este trabalho: a Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

O valor da TMA é definido como o limite inferior de investimento para um indivíduo ou empresa, podendo variar de indivíduo para indivíduo, empresa para empresa, e mesmo dentro da estrutura de uma empresa (WHITMAN; TERRY, 2012). A TMA pode ser estimada, por exemplo, através de pesquisas junto às instituições financeiras, a fim de determinar-se a taxa de juros para o financiamento do empreendimento em questão (HIRSCHFELD, 1987).

Ehrlich e Moraes (2013) explicam que o VPL consiste em colapsar todos os valores para o ponto de tempo zero e, dadas diversas alternativas, é possível calcular os valores no tempo zero equivalentes às séries correspondentes, a fim de compará-las para decidir qual é a melhor. O VPL é a representação de um saldo hipotético positivo, negativo ou nulo, dos valores investidos no empreendimento, corrigidos para o instante inicial e comparados a uma aplicação financeira de mesmo valor inicial (HIRSCHFELD, 1987).

Para Oliveira e Nascimento (1982), o VPL caracteriza-se pela transferência para o instante presente de todas as variações de caixa esperadas, descontando a TMA. De acordo com Thuesen e Fabrycky (2001), o VPL pode ser calculado pela Equação 1.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - FC_0 \quad (1)$$

Onde: VPL é o fluxo de caixa do investimento [R\$]; FC_t é o valor do fluxo de caixa no período t [R\$]; FC_0 é o valor do investimento inicial [R\$]; n é o número de períodos da análise; t é o período atual; i é a taxa mínima de atratividade TMA [%].

Kezner (2011) afirma que um valor positivo de VPL indica que o empreendimento terá rendimento igual ou superior ao custo do capital investido. Um valor de VPL nulo indica que o retorno do projeto apenas se iguala ao custo do capital, tornando-o desinteressante já

que o resultado não irá remunerar os riscos do empreendedor (OLIVEIRA; NASCIMENTO, 1982).

Segundo Ross et al. (2015), a TIR de um fluxo de caixa é a taxa de juros necessária para que o VPL seja nulo, sendo considerada uma taxa intrínseca ao projeto, pois depende apenas das entradas e saídas de caixa estimadas. Seu cálculo é feito pela Equação 2.

$$0 = \sum_{t=1}^n \left(\frac{FC_t}{(1+TIR)^t} \right) - I_0 \quad (2)$$

Onde: FC_t = fluxos previstos de entradas de caixa em cada período; TIR = taxa interna de retorno ou taxa de rentabilidade equivalente periódica; I_0 = montante do investimento no momento.

Para Brom e Balian (2007), a TIR representa a taxa média periódica de retorno de um projeto suficiente para repor, de forma integral e exata, o investimento realizado. A TIR iguala o valor dos lucros futuros aos gastos realizados ao longo do projeto, caracterizando a taxa de remuneração do capital investido (OLIVEIRA; NASCIMENTO, 1982). Os projetos passíveis de aceitação, no ponto de vista econômico, são aqueles que oferecem um retorno superior ao custo do capital, para tanto, a TIR calculada deve ser comparada à TMA determinada pelo empreendedor (OLIVEIRA; NASCIMENTO, 1982).

Ross et al. (2015) apresentam que, por causa de sua simplicidade, as empresas utilizam o *Payback* Simples (PBS) como um filtro para tomar a miríade de decisões em investimentos menores com que se confrontam continuamente. O PBS não leva em consideração o fluxo de caixa após o período de retorno do investimento, justificando a utilização desse método apenas como um indicador complementar (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2010).

Por outro lado, Ross et al. (2015) afirmam que no *Payback* Descontado (PBD) primeiro desconta-se os fluxos de caixa e, então, pergunta-se quanto tempo leva para que os fluxos de caixa descontados se igualem ao investimento inicial. Esse método, de acordo com Lemes Júnior, Rigo e Cherobim (2002), considera o valor do dinheiro no tempo, visto que utiliza a TMA para verificar o número exato de períodos em que o projeto recupera o valor inicial investido.

2.3 ESTUDOS APLICADOS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS E ROBÔS

Com o intuito de entender o que outros autores realizaram de estudos semelhantes a este, procurou-se na literatura trabalhos que abordaram a análise de viabilidade econômica aplicada em robôs.

Knott, Bidanda e Pennebaker (1988) realizaram um estudo de análise econômica de operações de soldagem por arco robótico. Para isso, os autores desenvolveram um modelo de cálculo para retorno de investimento (ROI). Já Mota e Santos (2019) estudaram a viabilidade econômica da soldagem GMAW robotizada em intercooler de alumínio na substituição da soldagem GMAW manual, utilizando o método da TIR e o VPL.

Utilizando métodos de Engenharia Econômica: VPL, TIR e Índice de Rentabilidade, Sikorová et al. (2017) fizeram uma avaliação de um projeto de investimento da robotização e automatização de uma linha de fresagem, de uma indústria na República Tcheca. Analisando uma simulação de Monte Carlo e utilizando o método do VPL, Hyde e Engel (2002) estudaram um investimento em um sistema de ordenha robótica, com o intuito de estimar o valor do ponto de equilíbrio.

Já Ulewicz e Mazur (2019) estudaram os aspectos econômicos da robotização de processos de produção em uma empresa que produz semi-reboques de automóveis. Para isso, usaram o método VPL para o cálculo do retorno do investimento e também fizeram uma análise comparativa entre os custos de mão de obra dos colaboradores e dos robôs. Para verificar a viabilidade econômica de paletização robotizada em uma fábrica de beneficiamento de cereais, Silvestre e Fróes (2019) utilizaram os métodos do VPL, da TIR e do *Payback*.

De modo análogo, Neto et al. (2014) fizeram um estudo de viabilidade econômica do emprego do robô manipulador na paletização de revestimentos cerâmicos. Utilizaram os seguintes métodos de Engenharia Econômica: PBD, VPL, TIR e Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE). Já Atherton et al. (2019) realizaram um estudo de viabilidade econômica e técnica de um sistema de robôs autônomos para a manutenção de fluidos de trens. No estudo, nenhum método específico de Engenharia Econômica foi utilizado, apenas foi realizada uma comparação de custos entre a robotização e o trabalho manual.

Com o objetivo de avaliar o retorno do investimento dos robôs e utilizando o método do VPL e do PBD, Adegbola, Fisher e Hodges (2019) fizeram um estudo de avaliação econômica do uso de robôs para o transplante de mudas de plantas. Já Kruethi et al. (2019) além de realizarem a simulação de um modelo para melhorar a eficiência de robôs de pintura, utilizaram os métodos VPL e PBS para auxiliar na tomada de decisão do investimento.

Donadelli et al. (2018) realizaram um estudo de implementação de robôs colaborativos em uma indústria do setor automotivo. Com o intuito de calcular o retorno do investimento dos robôs, utilizaram o método do PBS. Mital e George (1989) estudaram a viabilidade

econômica de automatizar uma linha de montagem, através da robotização. Para isso, aplicaram os métodos do VPL e do PBS.

Braglia e Gabbrielli (2000) efetuaram uma análise dimensional para a seleção de investimentos em robôs industriais. Assim sendo, usaram um método matemático conhecido como Teoria da Análise Dimensional, para avaliar critérios subjetivos (qualidade do fornecedor, flexibilidade de programação, interface homem-máquina) para seleção de investimentos em robôs industriais. Já Medina e Crispim (2010) elencaram os fatores determinantes no processo de decisão de investimentos em robotização na indústria brasileira de autopeças. Concluíram que os aspectos financeiros relacionados a custos e retorno em longo prazo são os fatores de maior importância, além de que aspectos como tecnologia, qualidade e produtividade associadas à robotização têm uma importância secundária.

Ao final desta subseção pode-se afirmar que, dentre os estudos apresentados, 64,3% utilizaram o método do VPL, 42,8% aplicaram os métodos de *Payback*, 35,7% utilizaram outros métodos, como por exemplo, modelagem matemática, e 28,3% usaram o método da TIR. Assim, pode-se seguir para a próxima seção deste trabalho, onde os procedimentos metodológicos serão definidos com base nos métodos aplicados nos estudos similares ao deste trabalho.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta seção foi dividida em três subseções que apresentarão o cenário, os métodos e as etapas de pesquisa.

3.1 CENÁRIO

O presente estudo de viabilidade econômica da implementação de células de soldagem robotizadas foi realizado em uma empresa localizada em uma cidade no interior do Rio Grande do Sul, fabricante de máquinas e implementos agrícolas. Dentre seus principais produtos, pode-se destacar: carretas agrícolas, roçadeiras, plataformas de milho, plantadoras e semeadoras. Atualmente, a empresa conta com 291 funcionários. Tratando-se do setor fabril, o chão de fábrica é dividido nos seguintes setores: almoxarifado, corte, usinagem, solda, lavagem, pintura, controle da qualidade, montagem e expedição.

Este trabalho ocorreu especificamente no setor de solda, que conta com 33 colaboradores e uma célula de soldagem robotizada. O tipo de solda utilizado pelo setor é a

soldagem por arco elétrico com gás de proteção GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), mais conhecida como soldagem MIG/MAG (MIG - *Metal Inert Gas*; MAG - *Metal Active Gas*). As principais peças soldadas são utilizadas na fabricação dos chassis, discos de corte e rodas compactadoras. O número médio de peças soldadas manualmente é de aproximadamente 17.500 peças/mês e o número médio de peças soldadas pela célula de soldagem robotizada é de aproximadamente 7.500 peças/mês.

3.2 MÉTODOS DE PESQUISA

O trabalho de pesquisa será desenvolvido usando a metodologia científica. Quanto à natureza, pode-se classificá-la como pesquisa aplicada, pois tem como objetivo aplicar o estudo em uma situação específica e real. As pesquisas aplicadas, conforme Gil (2018), são pesquisas voltadas à aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação em uma situação específica, nesse caso, obter conhecimentos necessários em relação à viabilidade econômica da implementação de células de soldagem robotizadas.

Quanto aos objetivos, pode-se classificar a pesquisa como descritiva. Os estudos descritivos buscam especificar propriedades, características e traços importantes de qualquer fenômeno que é analisado (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2013). Em relação à abordagem, classifica-se como uma pesquisa quantitativa, que, segundo Sampieri, Collado e Lucio (2013), definem que o enfoque quantitativo utiliza a coleta de dados para testar hipóteses, baseando-se na medição numérica e na análise estatística para estabelecer padrões e comprovar teorias.

E quanto aos procedimentos técnicos, é uma pesquisa classificada como estudo de caso. Conforme Gil (2018), o estudo de caso consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos casos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento.

3.3 ETAPAS DA PESQUISA

Este trabalho de conclusão de curso foi dividido em algumas etapas. A primeira etapa tem caráter informativo e introdutório, ao abordar a contextualização do tema e objetivos da pesquisa. A etapa seguinte buscou autores que abordam os temas de Indústria 4.0 e robôs, bem como, referências sobre Engenharia Econômica. Nessa mesma etapa também se realizou a pesquisa de trabalhos com propósitos semelhantes ao deste. Para isso, foi realizada uma busca em plataformas como: Periódicos CAPES, Scopus, Emerald, Science Direct, Scielo, e

Google Scholar. Posteriormente, se definiram os métodos a serem aplicados no desenvolvimento do trabalho.

Baseando-se na bibliografia pesquisada, foram utilizadas as seguintes variáveis para os cálculos de viabilidade econômica: custos de aquisição das células de soldagem robotizadas, custos de manutenção e operação das células, custos com colaboradores, TMA e correção monetária.

Os dados relacionados aos custos de aquisição e manutenção das células de soldagem robotizadas foram obtidos através de solicitação de orçamento pela empresa do estudo para as fabricantes, denominadas de XX e YY, em razão da existência de dados confidenciais, bem como, os modelos definidos como A, B, C e D. Já os custos com colaboradores e custos de produção, bem como informações sobre o processo produtivo, foram fornecidas pela empresa do estudo em questão. Os dados correspondem ao período de janeiro a julho de 2020, tendo sido obtidos através do sistema de gestão da empresa, como também, através de conversas com o Gerente Contábil da mesma.

A TMA utilizada foi a da empresa do estudo. Esse valor foi obtido através de conversa e análise de dados realizada com o Analista de Crédito da empresa. Para a inflação, foi analisada a taxa média anual dos últimos 10 anos, tendo como correção o Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPC-A) calculado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Para a coleta desses dados, foi utilizada a Calculadora do Cidadão (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2020) que garante informações seguras.

Foi considerado como vida útil dos equipamentos 20 anos. A tarifa de energia elétrica foi obtida por meio de pesquisa eletrônica através do site da Companhia Rio Grande Energia (RGE). Visando uma análise mais ampla da viabilidade do investimento, foram simulados cenários para a implementação de células de soldagem robotizadas. Esses cenários foram baseados em diferentes orçamentos de acordo com valores disponibilizados pelos fabricantes, variação da TMA e nível de automatização do setor de solda.

Após a coleta de dados, realizou-se a análise dos dados que envolveram as simulações dos cenários. Os resultados obtidos foram estudados a fim de analisar a viabilidade econômica da implementação de células de soldagem robotizadas na empresa de máquinas e implementos agrícolas. Para tal, se utilizou dos métodos Payback Simples, Payback Descontado, TIR e VPL calculados com o auxílio do Microsoft Excel. Por fim, a última etapa trouxe as conclusões deste trabalho de pesquisa.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Esta seção apresenta os dados coletados e os resultados obtidos ao longo de três subseções. Primeiramente será apresentada a coleta dos dados. Depois serão mostrados os cálculos de viabilidade econômica, levando em consideração os cenários criados. Por fim, será apresentada a análise dos resultados.

4.1 COLETA DE DADOS

Para melhor entendimento desta subseção, a mesma foi dividida em três partes. Inicialmente são apresentados os dados sobre a TMA e a correção monetária. Posteriormente, serão apresentados os dados técnicos e financeiros das células de soldagem robotizadas. Por último, são apresentados os dados financeiros relacionados aos colaboradores.

4.1.1 Dados sobre a taxa de juros e sobre a inflação

Como definido previamente, para a realização deste estudo foi adotada a TMA da empresa. A TMA da empresa é de 1,0% ao mês. Os valores obtidos para a inflação foram do período 1º de janeiro de 2010 a 30 de setembro de 2020, totalizando 120 meses. Assim, obtém-se uma inflação total de 72,47%. A partir do cálculo pela equação da Taxa Equivalente de Juros, obtém-se uma média de 5,60% ao ano e uma média de 0,45% ao mês.

4.1.2 Dados sobre as células de soldagem robotizadas

Nesta parte serão apresentados os modelos de células de soldagem robotizadas, bem como, dados técnicos e financeiros. A partir de uma entrevista com o supervisor do setor de solda da empresa, foram elencados quatro modelos de células de soldagem robotizadas que atenderiam as demandas de produção.

O primeiro modelo é o A com mesa fixa de 1700x675mm e potência de 21 kVA, da fabricante XX. Esse modelo foi projetado para empresas iniciantes da soldagem robotizada, o que é o caso da empresa do estudo. A célula A possui uma estação frontal permitindo o acesso prático para abastecimentos das peças a serem soldadas. Essa célula costuma ser utilizada para peças de pequeno porte com alto volume de produção.

Constituem a célula, os seguintes equipamentos: robô para soldagem, controladora, fonte e tocha. A fabricante inclui na sua proposta os seguintes treinamentos: Básico do Processo de Soldagem MIG/MAG (8 horas); Programação de Robô (24 horas); Operação e Manutenção Básica (8 horas). Uma imagem da célula está apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Célula de soldagem robotizada modelo a



Fonte: Site da Fabricante (2020).

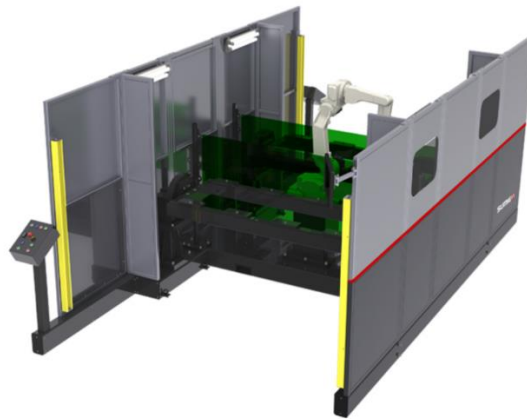
O valor do investimento nos equipamentos e treinamentos, adicionado a entrega técnica, é R\$ 317.610,64, sem considerar os impostos. Já o investimento com os impostos é R\$ 372.476,41. Os impostos considerados foram os seguintes: Imposto sobre Renda de Pessoas Jurídicas (IRPJ), Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL), Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), Programa de Integração Social (PIS) e Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS).

O segundo modelo, da mesma fabricante, é a célula de soldagem robotizada B com mesas giratórias (posicionador horizontal) de 2000x750mm e potência de 26 kVA. Essa célula possui duas estações opostas permitindo o acesso facilitado com espaço amplo para abastecimento das peças a serem soldadas. Esse acesso facilitado permite que o operador troque a peça e faça ajustes necessários em uma estação, enquanto que a outra estação está operando.

Na composição dessa célula estão os seguintes equipamentos: robô para soldagem, controladora, fonte, tocha, unidade para limpeza, unidade para refrigeração, posicionador e mesa de apoio para dispositivos.

O valor do investimento nos equipamentos e treinamentos, adicionado a entrega técnica, é R\$ 514.178,10, sem impostos. Ao considerar o investimento com impostos, o valor é de R\$ 603.000,00. Os impostos considerados nos cálculos foram os mesmos citados para o primeiro modelo. Uma imagem do modelo pode ser visualizada na Figura 2.

Figura 2 – Célula de soldagem robotizada modelo b



Fonte: Site da Fabricante (2020).

O terceiro modelo de célula de soldagem robótica é da fabricante YY. O modelo é o C com mesa fixa e potência de 21 kVA, cuja imagem está na Figura 3. O custo de aquisição é no valor de R\$ 482.000,00, incluindo os impostos e treinamentos. Os equipamentos que constituem este modelo são: robô de solda, controlador, fonte de solda, unidade de limpeza, unidade de refrigeração da tocha e mesa posicionadora fixa.

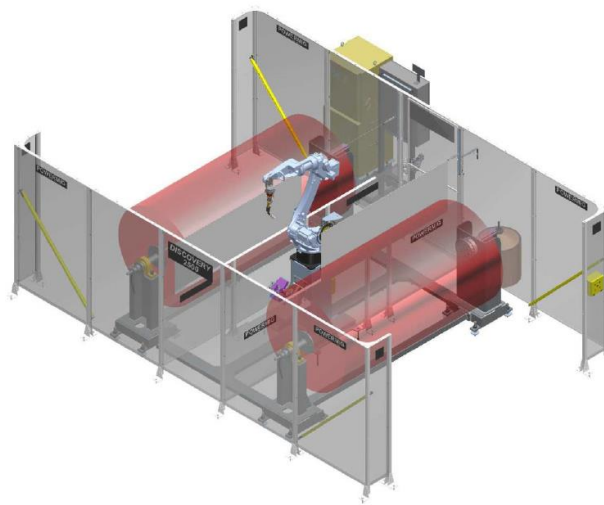
Figura 3 - Célula de soldagem robotizada modelo c



Fonte: Site da Fabricante (2020).

O quarto modelo, da mesma fabricante, é o D, com potência de 25 kVA. O custo de aquisição é no valor de R\$ 778.724.000,00, incluindo os impostos e treinamentos. Constituem este modelo os seguintes equipamentos: braço robótico de solda, controlador integrado, fonte de solda, tocha de solda, unidade de limpeza, unidade de refrigeração, base de referenciamento do robô e posicionadores de giros horizontais. O modelo pode ser visualizado na Figura 4.

Figura 4 – Célula de soldagem robotizada modelo d



Fonte: Site da Fabricante (2020).

Para melhor entendimento o Quadro 1 apresenta os modelos das células de soldagem robotizadas e seus respectivos valores de aquisição.

Quadro 1 - Modelos e valores de aquisição

Fabricante	Modelo	Tipo de mesa	Custo de aquisição
XX	A	Fixa	R\$ 372.476,41
XX	B	Giratória	R\$ 603.000,00
YY	C	Fixa	R\$ 482.000,00
YY	D	Giratória	R\$ 778.724,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Todos os modelos apresentados atendem as necessidades da empresa e oferecem os benefícios como: alta produtividade, maior precisão da soldagem, repetitividade das soldas e redução de custos. A principal diferença entre os modelos está entre o tipo de mesa. Os modelos que possuem mesa giratória (posicionador horizontal) permitem rotação automática da peça que está sendo soldada, sem a necessidade de o operador girar a peça para soldar no outro lado, necessitando apenas da utilização de um dispositivo de gabarito. Esse modelo, geralmente é utilizado para peças de grande porte. Já o posicionador com mesa fixa, é necessário que o operador gire a peça e, na maioria dos casos, necessita-se utilizar dois dispositivos de gabarito, um para cada lado da peça. Esses modelos geralmente são usados para peças de pequeno porte e alto volume de produção.

4.1.3 Dados sobre os colaboradores

No período de coleta dos dados, de janeiro a julho de 2020, o setor de solda teve entre 30 a 33 colaboradores, o que na média representa 31,43 colaboradores. O custo total referente a mão de obra nesse período foi de R\$ 680.941,27, dos quais R\$ 444.175,19 representaram os salários e ordenados, R\$ 98.203,71 as despesas com férias, R\$ 43.380,73 as despesas com 13º salário e R\$ 95.181,64 os encargos sociais de produção como INSS e FGTS. Pode-se verificar que o custo médio total mensal dos funcionários do setor de solda da empresa é de R\$ 97.277,32. Assim, o custo médio mensal por colaborador do setor de solda é de R\$ 3.095,46.

Os custos no setor de ferramentaria também foram obtidos. O número de 6 colaboradores manteve-se fixo no período analisado. O custo total referente a mão de obra nesse período foi de R\$ 150.676,03, dentre os quais R\$ 93.109,72 representaram os salários e ordenados, R\$ 28.194,50 as despesas com férias, R\$ 9.718,19 as despesas com 13º salário e R\$ 21.237,62 os encargos sociais de produção como INSS e FGTS. Pode-se verificar que o custo médio total mensal dos funcionários da ferramentaria é de R\$ 21.525,15, e o custo médio mensal por funcionário é de R\$ 3.587,53.

4.2 RESULTADOS DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Inicialmente foram elaborados os cenários de cálculo para posteriormente se analisar a viabilidade econômica da implementação de células de soldagem robotizadas. Para a elaboração dos cenários foi considerado a porcentagem desejada de automatização do setor de solda, mensurada em conversa com o responsável pelo setor na empresa. Assim,

estabeleceram-se três níveis de automatização, que constituem três cenários: 70%, 40% e 25% de automatização. Para 70% de automatização, são necessárias 3 células com mesa giratória e 2 células com mesa fixa. Para 40% de automatização, são necessárias 2 células com mesa giratória e 1 célula com mesa fixa. Para 25% de automatização, são necessárias 2 células com mesa giratória, pois já há 1 célula com mesa fixa na empresa. Dessa forma, como foram elencados os valores de aquisição de células de duas marcas diferentes, 6 cenários foram criados inicialmente. Entretanto, realizou-se uma variação de 0,5% para mais e para menos da TMA de 1,0% da empresa, com intuito de se analisar mais cenários. Portanto, totalizaram-se 18 cenários, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 – Apresentação dos cenários de cálculo

Cenário	Marca	Nível de automatização (%)	TMA (%)
1	XX	70	1
2	YY	70	1
3	XX	40	1
4	YY	40	1
5	XX	25	1
6	YY	25	1
7	XX	70	0,5
8	YY	70	0,5
9	XX	40	0,5
10	YY	40	0,5
11	XX	25	0,5
12	YY	25	0,5
13	XX	70	1,5
14	YY	70	1,5
15	XX	40	1,5
16	YY	40	1,5
17	XX	25	1,5
18	YY	25	1,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para montar o fluxo de caixa para cada cenário foram utilizados os dados sobre valores de compra e manutenção das células de soldagem robotizadas, custos mensais dos colaboradores e consumo mensal de energia elétrica das células. Para calcular a receita para cada cenário, foi considerado o quanto a empresa deixaria de pagar aos colaboradores, pois ao com as células o número de trabalhadores poderia ser reduzido no setor de solda. Assim, para os níveis de automatização apresentados anteriormente, foi considerado uma redução de 60,6% dos colaboradores no cenário de 70% de automatização, 27,8% de redução no cenário de 40% e 18,2% no cenário de 25%.

Os custos de manutenção das células são considerados anualmente, tendo como base o valor cobrado pelas fabricantes. Assim, considerou-se um valor médio de acordo com o que foi informado pelas fabricantes. O cálculo para energia elétrica baseou-se na potência de cada célula informada no manual de cada equipamento, multiplicado pelo número de células consideradas em cada cenário, números de horas de trabalho por dia, dias trabalhados no mês e o valor do kWh.

Na sequência, com os fluxos de caixa montados foi possível realizar os cálculos de viabilidade econômica para cada um dos cenários. O horizonte de análise foi de 240 meses, de acordo com a estimativa de vida útil das células. Na Tabela 1 estão apresentados o Payback Simples, o Payback Descontado, a TIR e o VPL para os 18 cenários. As planilhas dos cálculos estão parcialmente apresentados no Apêndice A, que demonstra o modo como foram calculados todos os cenários.

Tabela 1 – Resultados dos cenários

Cenário	TMA (% ao mês)	Payback Simples (meses)	Payback Descontado (meses)	TIR (% ao mês)	VPL (R\$)
1	1	87	159	1,27	R\$ 670.223,04
2	1	134	-	0,55	-R\$ 52.048,08
3	1	-	-	-0,27	-R\$ 954.437,50
4	1	-	-	-0,44	-R\$ 1.399.443,71
5	1	-	-	-0,36	-R\$ 1.012.334,85
6	1	-	-	-0,05	-R\$ 581.059,98
7	0,5	87	110	1,27	R\$ 2.896.079,03
8	0,5	134	140	0,55	R\$ 2.190.504,59
9	0,5	-	-	-0,27	-R\$ 532.586,20
10	0,5	-	-	-0,44	-R\$ 966.461,29
11	0,5	-	-	-0,36	-R\$ 641.100,56
12	0,5	-	-	-0,05	-R\$ 154.170,08
13	1,5	87	-	1,27	-R\$ 425.368,74
14	1,5	134	-	0,55	-R\$ 1.155.839,60
15	1,5	-	-	-0,27	-R\$ 532.586,20
16	1,5	-	-	-0,44	-R\$ 1.613.565,59
17	1,5	-	-	-0,36	-R\$ 1.195.637,49
18	1,5	-	-	-0,05	-R\$ 791.695,09

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

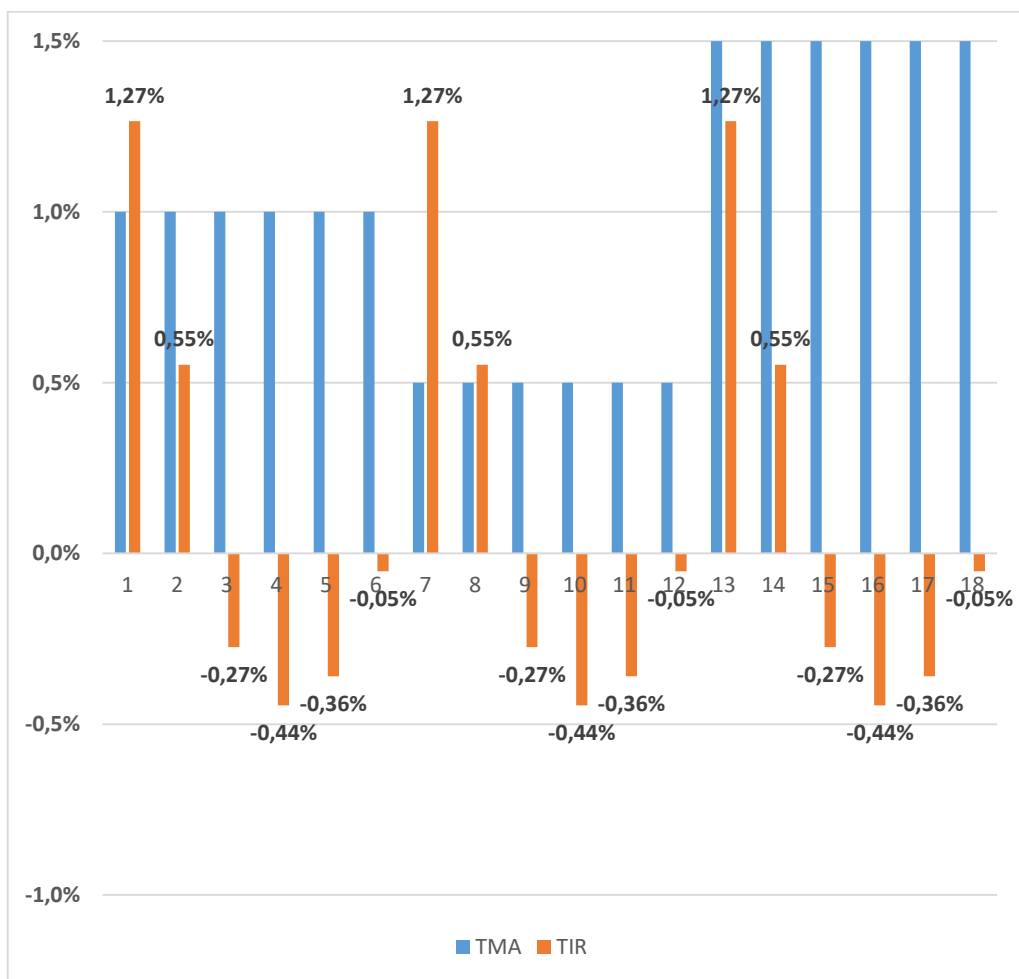
Conforme os valores obtidos para o VPL, somente os cenários 1, 7 e 8 são economicamente viáveis. Dentre eles, o cenário 7 se mostrou o de maior retorno econômico dentre os cenários simulados. Isso em razão de apresentar os maiores valores de VPL e TIR

dentre os cenários. Além disso, o cenário 7 apresenta 87 e 110 meses, os menores entre todos os cenários, como valores para o Payback e para o Payback Descontado, respectivamente.

4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

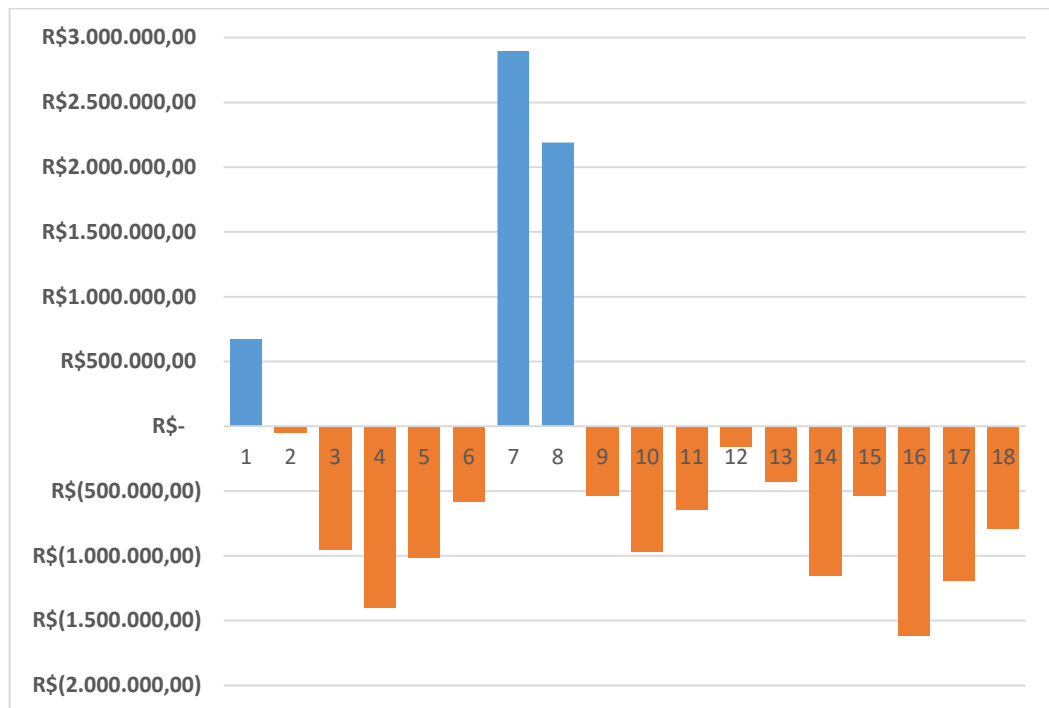
A partir da análise dos resultados previamente apresentados, pode-se afirmar que somente 3 dos 18 cenários simulados são viáveis economicamente, visto que estes apresentaram um VPL positivo e uma TIR maior que a TMA estipulada. Para melhor ilustrar isto, foram elaborados dois gráficos apresentados nas Figuras 5 e 6, que demonstram os valores encontrados para a TIR e VPL.

Figura 5 – Comparativo TIR com a TMA



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 6 – Valor de VPL para cada cenário



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A partir dos gráficos é possível justificar os resultados. Ao se analisar exclusivamente os cenários 1 e 2 que representam 70% de automatização, mas que possuem somente diferenciação quanto a marca, o cenário 1 é viável, pois o valor de compra da célula é menor do que a marca do cenário 2. Já ao se analisar os cenários 7 e 8, que também representam 70% de automatização e que possuem diferenciação quanta a marca, ambos são economicamente viáveis, pois possuem como fator determinante para sua viabilidade a TMA de 0,5%. Os demais cenários são economicamente inviáveis e isso se deve principalmente ao fato das receitas serem relativamente baixas.

Ao comparar este estudo com outros estudos de viabilidade econômica com propósitos semelhantes ao deste, Adegbola, Fisher e Hodges (2019) estudaram a avaliação econômica do uso de robôs para o transplante de mudas de plantas e, ao elaborarem 7 cenários com diferentes níveis de automatização utilizando os métodos do VPL e do PBD, somente 3 mostraram-se viáveis. Aplicando os métodos VPL, TIR e Índice de Rentabilidade, Sikorová et al. (2017) avaliaram um projeto de investimento de robotização e de automatização de uma linha de fresagem, e ao considerarem três cenários de investimentos, concluíram que o terceiro investimento com maior nível de automatização é o que apresenta maior VPL e TIR.

Já Silvestre e Fróes (2019) utilizaram os métodos do VPL, da TIR e do *Payback* para verificar a viabilidade econômica de paletização robotizada em uma fábrica de beneficiamento de cereais e, ao analisarem 2 cenários, concluíram que há viabilidade econômica. Ainda, Neto et al. (2014) analisaram a viabilidade econômica do emprego de robô manipulador na paletização de revestimentos cerâmicos e o projeto mostrou-se viável em todos os aspectos calculados: PBD, VPL, TIR e Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE).

Esses estudos exemplificam que a elaboração de diferentes cenários para a análise de viabilidade econômica auxilia na tomada de decisão de investimentos em razão de demonstrarem em qual cenário se tem o maior retorno financeiro. Bem como, em quais situações o investimento não é viável. O que foi o caso retratado nessa pesquisa.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho de conclusão de curso teve como objetivo principal realizar um estudo de viabilidade econômica da implementação de células de soldagem robotizadas para o setor de solda em uma empresa fabricante de máquinas e implementos agrícolas, localizada em uma cidade no interior do Rio Grande do Sul. Para tal, foram utilizados os métodos de análise econômica *Payback* Simples, *Payback* Descontado, TIR e VPL. Foram simulados e avaliados dezoito cenários. Estes cenários são baseados em três níveis de automatização do setor de solda, duas fabricantes diferentes e três variações de TMA.

A partir da análise dos resultados obtidos nas simulações dos cenários concluiu-se que os cenários 1, 7 e 8 possuem viabilidade econômica, além de o cenário 7 apresentar maior retorno econômico. Todos os outros cenários são inviáveis economicamente. Assim, se pode concluir que a empresa do estudo em questão pode até automatizar o setor de solda, mas isso somente é viável economicamente se automatizar 70% do setor.

É importante frisar que buscou-se na simulação dos cenários a maior proximidade possível com a realidade da empresa. Porém, um fator limitante para este estudo foi que a empresa não possui seus centros de custos bem definidos. Assim, não foi possível obter a informação de quanto o setor de solda gera de receita para a empresa, bem como, o quanto cada célula de soldagem robotizada iria gerar de receita. Desta maneira, se utilizou como receita o quanto a empresa deixaria de pagar pela não utilização de colaboradores em cada cenário. Em última análise, se for considerada a TMA praticada pela empresa, há viabilidade econômica de investir em células de soldagem robotizadas somente em um cenário.

Além disso, é necessário ressaltar que a automatização dos processos produtivos e a Indústria 4.0 não vão necessariamente reduzir o número de colaboradores, como foi apresentado na elaboração dos cenários desta pesquisa. Por outro lado, poderão gerar novas oportunidades e postos de trabalho melhor remunerados, porém, com maior exigência de conhecimento por parte dos colaboradores.

De todo modo, o objetivo inicialmente proposto por este trabalho foi cumprido, mostrando que utilizar células de soldagem robotizadas ao invés de colaboradores para a empresa fabricante de máquinas e implementos agrícolas é economicamente viável de acordo com um cenário simulado.

REFERÊNCIAS

- AHUETT-GARZA, H.; KURFESS, T. A brief discussion on the trends of habilitating technologies for Industry 4.0 and Smart manufacturing. **Manufacturing Letters**, [S. l.], v. 15, p. 60-63, jan. 2018.
- ALVES, A.; MATTOS, J. G.; AZEVEDO, I. S. S. **Engenharia econômica**. Porto Alegre: Sagah Educação S.A., 2016.
- ATHERTON, M. et al. Economic and technical feasibility of a robotic autonomous system for train fluid servicing. **Journal of Rail and Rapid Transit**, Londres, v. 234, n. 3, p. 338-350, fev. 2019.
- ADEGBOLA, Y. U.; FISHER, P. R.; HODGES, A. W. Economic evaluation of transplant robot for plant cuttings. **Scientia Horticulturae**, [S. l.], v. 246, p. 237-243, 2019.
- BAHRIN, M. A. K. et al. Industry 4.0: a review on industrial automation and robotic. **Jurnal Teknologi**, [S. l.], v. 78, p. 137-143, 2016.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Calculadora do Cidadão**. 2020. Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADA0/publico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=xibirFormCorrecaoValores>. Acesso em: 15 mai. 2020.
- BLANK, L. T.; TARQUIN, A. **Engineering economy**. 7. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2012.
- BONETTI, C. O.; SOUZA, J. Automação no abastecimento de adesivos para o processo de montagem de calçados – um estudo de caso. In: CONGRESSO INTERNACIONAL E EXPOSIÇÃO SUL-AMERICANA DE AUTOMAÇÃO, SISTEMAS E INSTRUMENTAÇÃO, 15., 2013, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: FAPESP, 2013.
- BONGOMIN, O. et al. Exponential disruptive technologies and the required skills of industry 4.0. **Journal of Engineering**, [S. l.], v. 2020, p. 1-17, 2020.
- BRAGLIA, M.; GABBRIELLI, R. Dimensional analysis for investment selection in industrial robots. **International Journal of Production Research**, Stuttgart, v. 38, n. 18, p. 4843-4848, 2000.
- BROM, L. G.; BALIAN, J. E. A. **Análise de investimento e capital de giro**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.
- CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKE, B. H. **Análise de investimentos**. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- CONFIRA os benefícios da manufatura avançada para a área de soldagem. **A Voz da Indústria**, São Paulo, 12 jul. 2018. Disponível em: <https://avozdaindustria.com.br/gest-o/confira-os-benef-cios-da-manufatura-avan-ada-para-rea-de-soldagem>. Acesso em: 23 mar. 2020.

DE MAURO, A.; GRECO, M.; GRIMALDI, M. A formal definition of big data based on its essential features. **Library Review**, Somerville, v. 65, n. 3, p. 122-135, mar. 2016.

DILBEROGLU, U. M. et al. The role of additive manufacturing in the era of industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, [S. l.], v. 11, p. 545-554, 2017.

DUTTA, G. et al. Digital transformation priorities of India's discrete manufacturing SMEs – a conceptual study in perspective of Industry 4.0. **Competitiveness Review**, Gurgaon, v. 30, n. 3, p. 289-314, 2020.

DONADELLI et al. Implementação de robôs colaborativos em uma indústria do setor automotivo. *In*: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25., 2018, Bauru. **Anais [...]**. Bauru: Simpep, 2018.

EBRAHIMI, M.; BABOLI, A.; ROTHER, E. A Roadmap for evolution of existing production system toward the factory of the future: A case study in automotive industry. *In*: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON TECHNOLOGY MANAGEMENT, OPERATIONS AND DECISIONS, 2018, Marrakech. **Anais [...]**. Marrakech: IEEE, 2018. p. 274-281.

EHRlich, P. J.; MORAES, E. A. **Engenharia econômica: avaliação e seleção de projetos de investimentos**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

ESMAEILIAN, B.; BEHDAD, S.; WANG, B. The evolution and future of manufacturing: a review. **Journal of Manufacturing Systems**, [S. l.], v. 39, p. 79-100, abr. 2016.

FUKUDA, D. O.; MARIZ, F. B. A. R.; MESQUITA, M. A. Impactos da Indústria 4.0 na gestão de operações. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 37., 2017, Joinville. **Anais [...]**. Joinville: Enegep, 2017.

GALATI, F.; BIGLIARDI, B. Industry 4.0: emerging themes and future research avenues using a text mining approach. **Computers in Industry**, [S. l.], v. 109, p. 100-113, ago. 2019.

GAO, L.; ZHAO, Y. Application on cloud computing in the future library. *In*: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON CLOUD COMPUTING AND INTELLIGENCE SYSTEMS, 2011, Beijing. **Anais [...]**. Beijing: IEEE, 2011. p. 175-177.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

GONÇALVES, A. et al. **Engenharia econômica e finanças**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

GRAETZ, G.; MICHAELS, G. Robots at work. **Review of Economics and Statistics**, Cambridge, v. 100, n. 5, p. 753-768, dez. 2018.

GRAU, A. et al. Industrial robotics in factory automation: From the early stage to the internet of things. *In*: ANNUAL CONFERENCE OF THE IEEE INDUSTRIAL ELECTRONICS SOCIETY, 43., 2017. **Anais [...]**. Beijing: IEEE, 2017. p. 6159-6164.

HAROLD, K.; RANDAL, A. **Simulation of dynamic systems with matlab and simulink**. 3. ed. New York: CRC Press, 2018.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos**. 7.ed. São Paulo: Atlas, 2000.

HIRSCHFELD, H. **Viabilidade técnico-econômica de empreendimentos**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 1987.

HYDE, J.; ENGEL, P. Investing in a robotic milking system: a monte carlo simulation analysis. **Journal of Dairy Science**, [S. l.], v. 85, n. 9, p. 2207-2214, set. 2002.

INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTIC (IFR). **Executive Summary World Robotics 2019 Industrial Robots**. 2019. Disponível em: <https://ifr.org/downloads/press2018/Executive%20Summary%20WR%202019%20Industrial%20Robots.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2020.

IVANOV, D. et al. A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0. **International Journal of Production Research**, [S. l.], v. 54, n. 2, p. 386-402, 2016.

JAZDI, N. Cyber physical systems in the context of Industry 4.0. *In*: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATION, QUALITY AND TESTING, ROBOTICS, 2014, Cluj-Napoca. **Anais [...]**. Cluj-Napoca: IEEE, 2014.

KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; GAWANKAR, S. A. Sustainable industry 4.0 framework: a systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process Safety and Environmental Protection**, [S. l.], v. 117, p. 408-425, jul. 2018.

KANG, H. S. et al. Smart manufacturing: past research, present findings, and future directions. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, [S. l.], v. 3, p. 111-128, jan. 2016.

KEZNER, H. **Gerenciamento de projetos: uma abordagem sistêmica para planejamento, programação e controle**. 10. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

KNOTT, K.; BIDANDA, B.; PENNEBAKER, D. Economic analysis of robotic arc welding operations. **International Journal of Production Research**, [S. l.], v. 26, n. 1, p. 107-117, 1988.

KRUETHI, N. et al. A simulation model to improve the efficiency of painting robots and applied an engineering economic for project selection. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ICT AND KNOWLEDGE ENGINEERING, 2019, Bangkok. **Anais [...]**. Bangkok: ICT, 2019.

LEMES JUNIOR, A. B.; RIGO, C.; CHEROBIM, A. P. **Administração financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

LU, Y. Industrial integration: a literature review. **Journal of Industrial Integration and Management**, [S. l.], v. 1, n. 2, 2016.

MEDINA, R. M.; CRISPIM, S. F. Fatores determinantes no processo de decisão de investimentos em robotização na indústria brasileira de autopeças. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 17, n. 3, p. 567-578, 2010.

MOKTADIR, A. et al. Assessing challenges for implementing Industry 4.0: implications for process safety and environmental protection. **Process Safety and Environmental Protection**, [S. l.], v. 117, p. 730-741, jul. 2018.

MOTA, C. E.; SANTOS, A. S. F. **Alinhamento dinâmico da engenharia de produção 2. 2.** ed. Ponta Grossa: Atena, 2019.

MITAL, A.; GEORGE, L. J. Economic Feasibility of a Product Assembly Line: A Case Study. **The Engineering Economist**. [S. l.], v. 35, n. 1, p. 25-38, 1989.

NETO, J. M. et al. Estudo da viabilidade econômica do emprego do robô manipulador na paletização de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 17-20, mai./jun. 2014.

OLIVEIRA J.; NASCIMENTO, J. A. **Engenharia econômica**: uma abordagem às decisões de investimento. 1. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982.

PEREIRA, D. M.; SILVA, G. S. As Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) como aliadas para o desenvolvimento. **Cadernos de Ciências Sociais Aplicadas**, Vitória da Conquista, ano 7, n. 10, p. 151-174, 2010.

POSADA, J. et al. Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet. **IEEE Computer Graphics and Applications**, [S. l.], v. 35, n. 2, p. 26-40, mar./abr. 2015.

QIN, J.; LIU, Y.; GROSVENOR, R. A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. **Procedia CIRP**, [S. l.], v. 52, p. 173-178, 2016.

ROMERO, D. et al. Towards an operator 4.0 typology: A human-centric perspective on the fourth industrial revolution technologies. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCES ON COMPUTERS AND INDUSTRIAL ENGINEERING, 46., 2016, Tianjin. **Anais [...]**. Tianjin: Griffith University, 2016. p. 29-31.

RGE. RIO GRANDE ENERGIA. **Taxas e tarifas**. 2020. Disponível em: <<https://servicosonline.cpfl.com.br/agencia-webapp/#/taxas-tarifas>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

ROSÁRIO, J. M. **Princípios de mecatrônica**. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

ROSS, S. et al. **Corporate finance**. 10. ed. Nova Iorque: The McGraw-Hill, 2015.

ROTTA, F. Indústria 4.0 pode economizar R\$ 73 bilhões ao ano para o Brasil. **Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial**, Brasília, 20 dez. 2017. Disponível em: <https://www.abdi.com.br/postagem/industria-4-0-pode-economizar-r-73-bilhoes-ao-ano-para-o-brasil>. Acesso em: 26 mar. 2020.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. P. B. **Metodologia de pesquisa**. 5. ed. Porto Alegre: Pensa, 2013.

SIKOROVÁ, A. et al. Evaluation of an investment project for robotization of the metal-bearing material sample preparation department. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON METALLURGY AND MATERIALS*, 26., 2017, Ostrava. **Anais [...]**. Ostrava: Tanger, 2017. p. 2299-2303.

SILVA, M. et al. A customer feedback platform for vehicle manufacturing compliant with industry 4.0 vision. **Sensors**, [S. l.], v. 18, n. 10, p. 3298, out. 2018.

SILVESTRE, T.; FRÓES, N. J. M. Uma análise de viabilidade econômica para a paletização robotizada em uma fábrica de beneficiamento de cereais. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 39., 2019, Santos. **Anais [...]**. Santos: ABEPRO, 2019.

SRIDHAR, S.; HAHN, A.; GOVINDARASU, M. Cyber-physical system security for the electric power grid. **Proceedings of the IEEE**, [S. l.], v. 100, n. 1, p. 210-224, jan. 2012.

THOBEN, K.-D.; WIESNER, S.; WUEST, T. Industry 4.0 and smart manufacturing a review of research issues and application examples. **International Journal of Automation Technology**, [S. l.], v. 11 n. 1, p. 4-16, jan. 2017.

THUESEN, G. J.; FABRYCKY, W. J. **Engineering economy**. 9. ed. Nova Jersey: Prentice Hall, 2001.

ULEWICZ, R.; MAZUR, M. Economic aspects of robotization of production processes by example a car semi-trailers manufacturer. **Manufacturing Technology**, [S. l.], v. 19, n. 6, p. 1054-1059, dez. 2019.

WHITMAN, D. L.; TERRY, R. E. **Fundamentals of engineering economics and decision analysis**. San Rafael: Morgan & Claypool, 2012.

WONG, K. S.; KIM, M. H. Privacy protection for data-driven smart manufacturing system. **International Journal of Web Services Research**, [S. l.], v. 14, n. 3 p. 17-32, 2017.

XIANG, L. Simulation system of car crash test in C-NCAP analysis based on an improved apriori algorithm. **Physics Procedia**, [S. l.], v. 25, p. 2066-2071, 2012.

XU, J.; LI, B.; LUO, S. Practice and exploration on teaching reform of engineering Project management course in universities based on BIM simulation technology. **Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, [S. l.], v. 14, n. 5, p. 1827-1835, 2018.

YANG, C. et al. Towards product customization and personalization in IoT enabled cloud manufacturing. **Cluster Computing: The Journal of Networks, Software Tools, and Applications**, [S. l.], v. 20, n. 2, p. 1717-1730, 2017.

APÊNDICE A – PLANILHA PARCIAL DE CÁLCULOS PARA O CENÁRIO 1

Período (meses)	Período (ano)	Despesas	Receitas	Líquido	Líquido Corrigido	PBD	PBS	TIR	VPL
0	0	R\$ 2.553.952,82		-R\$ 2.553.952,82	-R\$ 2.553.952,82	-R\$ 2.553.952,82	-R\$ 2.553.952,82		-R\$ 2.553.952,82
1	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.525.921,27	-R\$ 2.525.640,95	-98,89%	-R\$ 2.525.921,27
2	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.498.167,25	-R\$ 2.497.329,08	-88,90%	-R\$ 2.498.167,25
3	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.470.688,03	-R\$ 2.469.017,21	-75,65%	-R\$ 2.470.688,03
4	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.443.480,88	-R\$ 2.440.705,34	-63,86%	-R\$ 2.443.480,88
5	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.416.543,11	-R\$ 2.412.393,47	-54,26%	-R\$ 2.416.543,11
6	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.389.872,04	-R\$ 2.384.081,60	-46,58%	-R\$ 2.389.872,04
7	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.363.465,05	-R\$ 2.355.769,73	-40,40%	-R\$ 2.363.465,05
8	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.337.319,51	-R\$ 2.327.457,86	-35,39%	-R\$ 2.337.319,51
9	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.311.432,84	-R\$ 2.299.145,99	-31,27%	-R\$ 2.311.432,84
10	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.285.802,48	-R\$ 2.270.834,12	-27,84%	-R\$ 2.285.802,48
11	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.260.425,88	-R\$ 2.242.522,25	-24,95%	-R\$ 2.260.425,88
117	9	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 46.238,05	-R\$ 456.534,48	R\$ 1.193.822,61	0,64%	-R\$ 456.534,48
118	9	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 46.238,05	-R\$ 442.243,00	R\$ 1.240.060,66	0,65%	-R\$ 442.243,00
119	9	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 46.238,05	-R\$ 428.093,01	R\$ 1.286.298,71	0,67%	-R\$ 428.093,01
120	9	R\$ 78.597,33	R\$ 61.909,20	-R\$ 16.688,13	-R\$ 27.254,52	-R\$ 436.350,99	R\$ 1.259.044,18	0,66%	-R\$ 436.350,99
121	10	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 48.828,07	-R\$ 421.702,82	R\$ 1.307.872,26	0,67%	-R\$ 421.702,82
122	10	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 48.828,07	-R\$ 407.199,68	R\$ 1.356.700,33	0,68%	-R\$ 407.199,68
123	10	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 48.828,07	-R\$ 392.840,14	R\$ 1.405.528,40	0,70%	-R\$ 392.840,14
124	10	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 48.828,07	-R\$ 378.622,77	R\$ 1.454.356,47	0,72%	-R\$ 378.622,77
125	10	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 48.828,07	-R\$ 364.546,17	R\$ 1.503.194,54	0,73%	-R\$ 364.546,17
126	10	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 48.828,07	-R\$ 350.608,94	R\$ 1.552.012,62	0,74%	-R\$ 350.608,94
127	10	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 48.828,07	-R\$ 336.809,70	R\$ 1.600.840,69	0,75%	-R\$ 336.809,70
128	10	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 48.828,07	-R\$ 323.147,09	R\$ 1.649.668,76	0,77%	-R\$ 323.147,09
129	10	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 48.828,07	-R\$ 309.619,75	R\$ 1.698.496,83	0,78%	-R\$ 309.619,75
130	10	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 48.828,07	-R\$ 296.226,35	R\$ 1.747.324,91	0,79%	-R\$ 296.226,35
131	10	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 48.828,07	-R\$ 282.965,55	R\$ 1.796.152,98	0,80%	-R\$ 282.965,55
132	10	R\$ 78.597,33	R\$ 61.909,20	-R\$ 16.688,13	-R\$ 28.781,19	-R\$ 290.704,59	R\$ 1.767.371,79	0,79%	-R\$ 290.704,59
133	11	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 51.563,18	-R\$ 276.976,92	R\$ 1.818.934,97	0,81%	-R\$ 276.976,92
134	11	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 51.563,18	-R\$ 263.385,16	R\$ 1.870.498,15	0,82%	-R\$ 263.385,16

Período (meses)	Período (ano)	Despesas	Receitas	Líquido	Líquido Corrigido	PBD	PBS	TIR	VPL
0	0	R\$ 2.553.952,82		-R\$ 2.553.952,82	-R\$ 2.553.952,82	-R\$ 2.553.952,82	-R\$ 2.553.952,82		-R\$ 2.553.952,82
1	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.525.921,27	-R\$ 2.525.640,95	-98,89%	-R\$ 2.525.921,27
2	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.498.167,25	-R\$ 2.497.329,08	-88,90%	-R\$ 2.498.167,25
3	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.470.688,03	-R\$ 2.469.017,21	-75,65%	-R\$ 2.470.688,03
4	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.443.480,88	-R\$ 2.440.705,34	-63,86%	-R\$ 2.443.480,88
5	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.416.543,11	-R\$ 2.412.393,47	-54,26%	-R\$ 2.416.543,11
6	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.389.872,04	-R\$ 2.384.081,60	-46,58%	-R\$ 2.389.872,04
7	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.363.465,05	-R\$ 2.355.769,73	-40,40%	-R\$ 2.363.465,05
8	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.337.319,51	-R\$ 2.327.457,86	-35,39%	-R\$ 2.337.319,51
9	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.311.432,84	-R\$ 2.299.145,99	-31,27%	-R\$ 2.311.432,84
10	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.285.802,48	-R\$ 2.270.834,12	-27,84%	-R\$ 2.285.802,48
11	0	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 28.311,87	-R\$ 2.260.425,88	-R\$ 2.242.522,25	-24,95%	-R\$ 2.260.425,88
12	0	R\$ 78.597,33	R\$ 61.909,20	-R\$ 16.688,13	-R\$ 16.688,13	-R\$ 2.275.235,74	-R\$ 2.259.210,38	-27,17%	-R\$ 2.275.235,74
159	13	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 57.501,59	R\$ 9.518,78	R\$ 3.043.548,73	1,01%	R\$ 9.518,78
160	13	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 57.501,59	R\$ 21.220,78	R\$ 3.101.050,33	1,01%	R\$ 21.220,78
161	13	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 57.501,59	R\$ 32.806,91	R\$ 3.158.551,92	1,02%	R\$ 32.806,91
162	13	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 57.501,59	R\$ 44.278,34	R\$ 3.216.053,51	1,03%	R\$ 44.278,34
163	13	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 57.501,59	R\$ 55.636,18	R\$ 3.273.555,11	1,03%	R\$ 55.636,18
164	13	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 57.501,59	R\$ 66.881,58	R\$ 3.331.056,70	1,04%	R\$ 66.881,58
165	13	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 57.501,59	R\$ 78.015,63	R\$ 3.388.558,30	1,04%	R\$ 78.015,63
166	13	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 57.501,59	R\$ 89.039,44	R\$ 3.446.059,89	1,05%	R\$ 89.039,44
167	13	R\$ 33.597,33	R\$ 61.909,20	R\$ 28.311,87	R\$ 57.501,59	R\$ 99.954,11	R\$ 3.503.561,49	1,05%	R\$ 99.954,11
240	19	R\$ 78.597,33	R\$ 61.909,20	-R\$ 16.688,13	-R\$ 47.004,52	R\$ 670.223,04	R\$ 7.835.130,23	1,27%	R\$ 670.223,04