

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM PROJETO E PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO

Área de concentração: Projeto e Processos de Fabricação

Dissertação de Mestrado

PROPOSTA PARA TOMADA DE DECISÃO NA
AQUISIÇÃO DE ROBÔS DE SOLDAGEM EM
INDÚSTRIAS DE PEQUENO PORTE PELO MÉTODO
TCO

Vinícius Pereira de Souza

Passo Fundo
2022



CIP – Catalogação na Publicação

S729p Souza, Vinícius Pereira de
Proposta para tomada de decisão na aquisição de robôs de soldagem em indústrias de pequeno porte pelo método TCO [recurso eletrônico] / Vinícius Pereira de Souza. – 2023.
1.2 MB ; PDF.

Orientador: Prof. Dr. Charles Leonardo Israel.
Dissertação (Mestrado em Projeto e Processos de Fabricação) – Universidade de Passo Fundo, 2023.

1. Processos de fabricação. 2. Automação industrial.
3. Soldagem. 4. Robôs industriais. I. Israel, Charles Leonardo, orientador. II. Título.

CDU: 681.5

Vinícius Pereira de Souza

**PROPOSTA PARA TOMADA DE DECISÃO NA AQUISIÇÃO DE
ROBÔS DE SOLDAGEM EM INDÚSTRIAS DE PEQUENO PORTE
PELO MÉTODO TCO**

Orientador: Prof. Dr. Charles Leonardo Israel

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo
2023

Vinicius Pereira de Souza

**PROPOSTA PARA TOMADA DE DECISÃO NA AQUISIÇÃO DE
ROBÔS DE SOLDAGEM EM INDÚSTRIAS DE PEQUENO PORTE
PELO MÉTODO TCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data de aprovação: 27 de setembro de 2023.

Os componentes da Banca examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Doutor Charles Leonardo Israel
Orientador

Professor Doutor Anderson Hoose
Coorientador

Professor Doutor William Haupt
PPG PPF Universidade de Passo Fundo

Doutor Diego Tolotti de Almeida
Bruning Tecnometal LTDA

RESUMO

Os cenários industriais se desenvolvem em ritmo acelerado, uma vez que os parâmetros para produção em série, alteram-se sistematicamente, em um viés de franca expansão tecnológica norteadada pela Indústria 4.0. Desenvolver novos sistemas produtivos, mantendo parâmetros aceitáveis de processo, corrobora para a vanguarda das modernas organizações de manufatura. Produzir com qualidade, em grande escala e baixo custo é o que motiva diariamente, frente a um cenário econômico de desafios e mudanças constantes. A modernização de máquinas e equipamentos, vem para somar neste sentido, tornando o dia a dia na indústria eficaz, uma vez que, implica diretamente na alteração de processos de fabricação robustos, para processos essencialmente tecnológicos, de fácil controle e de rápida resposta. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo elaborar uma proposta para tomada de decisão na aquisição de robôs de soldagem em indústrias de pequeno porte pelo método TCO. Esta proposta metodológica foi elaborada para elucidar as ações gerenciais nas empresas, neste contexto de negócio, indicando a melhor opção em momentos críticos, onde os recursos devem ser canalizados de forma correta, com pouca margem para equívocos e com resultados satisfatórios em um curto período de tempo. O método de análise econômica TCO, foi utilizado como referência, parametrizado por fatores observados como essenciais neste modelo de avaliação. Observou-se como principais resultados a validação da diferenciação entre custos iniciais de compra e custos ao longo do ciclo de vida do equipamento, uma vez que estes quando mapeados de forma correta e considerados na avaliação final da compra tornam a tomada de decisão mais assertiva.

Palavras chave: Indústria 4.0; Manufatura; Proposta Metodológica; Robôs de Soldagem; TCO.

ABSTRACT

Industrial scenarios are developing at an accelerated pace, as parameters for mass production systematically change, driven by a clear technological expansion guided by Industry 4.0. Developing new production systems while maintaining acceptable process parameters contributes to the forefront of modern manufacturing organizations. Producing with quality, on a large scale, and at low cost is the daily motivation in the face of an economic landscape of constant challenges and changes. The modernization of machinery and equipment adds value in this sense, making day-to-day operations in the industry efficient by directly impacting the transition from robust manufacturing processes to essentially technological processes that are easily controlled and provide quick responses. Therefore, this work presents a reference proposal for decision-making regarding the feasibility of purchasing welding robots in small industries. This methodological proposal was developed to elucidate managerial actions in companies within this business context, indicating the best option during critical moments where resources must be channeled assertively, leaving little room for errors and yielding satisfactory results in a short period. The TCO economic analysis method was used as a reference, parameterized by factors observed as essential in this evaluation model. The main results are the validation of the distinction between initial purchase costs and costs throughout the life cycle of the equipment, since these, when mapped correctly and considered in the final purchase evaluation, make decision-making more assertive.

Keywords: Manufacturing; Methodological Proposal; Welding Robots; TCO.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tecnologias relacionadas à Indústria 4.0.....	15
Figura 2 - Momentos essenciais da comunicação industrial e da robótica.....	16
Figura 3 - Sistema de Manufatura estruturado em nuvem.....	18
Figura 4 - Modelos de robôs de soldagem.....	19
Figura 5 - Robô de Soldagem em Linha de Produção.....	20
Figura 6 - Modelo de Célula de Soldagem.....	21
Figura 7 - Gestão Estratégica de Custos.....	23
Figura 8 - Modelo TCO (Total Cost of Ownership).....	23
Figura 9 - Fluxograma da Metodologia Proposta.....	26
Figura 10 - Metodologia Proposta.....	27
Figura 11 - Relação entre Gestão Estratégica de Custos e o TCO.....	28
Figura 12 - Categorias de Custos do modelo TCO proposto.....	30
Figura 13 - Análise do Cálculo TCO.....	36
Figura 14 - Fluxograma do Processo.....	38
Figura 15 - Escalonamento dos critérios para triagem dos fornecedores.....	40
Figura 16 - Gráfico comparativo OEE.....	48
Figura 17 - Gráfico Comparativo TCO Fornecedores.....	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Planejamento Experimental	32
Quadro 2 - Especificações da Célula de Soldagem	32
Quadro 3 - Formulário Padrão TCO	33
Quadro 4 - Resumo de Cálculo.....	34
Quadro 5 - Resultado TCO	35
Quadro 6 - Proposta Comercial Fornecedores A, B e C.....	41
Quadro 7 - Base de Dados Soldagem Manual	43
Quadro 8 - Disponibilidade, Performance e Qualidade da Soldagem Manual.....	43
Quadro 9 - Eficiência Soldagem Manual	43
Quadro 10 - Base de Dados Fornecedor A	44
Quadro 11 - Disponibilidade, Performance e Qualidade da Soldagem Robotizada EA	44
Quadro 12 - Eficiência Soldagem Robotizada Equipamento A	45
Quadro 13 - Base de Dados Fornecedor B	45
Quadro 14 - Disponibilidade, Performance e Qualidade da Soldagem Robotizada EB.....	45
Quadro 15 - Eficiência Soldagem Robotizada Equipamento B	46
Quadro 16 - Base de Dados Fornecedor C	46
Quadro 17 - Disponibilidade, Performance e Qualidade da Soldagem Robotizada EC.....	47
Quadro 18 - Eficiência Soldagem Robotizada Equipamento C	47
Quadro 19 - Produtividade e Cálculo Financeiro Baseado em OEE FA.....	49
Quadro 20 - Produtividade e Cálculo Financeiro Baseado em OEE FB	49
Quadro 21 - Produtividade e Cálculo Financeiro Baseado em OEE FC.....	50
Quadro 22 - Vida Útil Equipamento A.....	50
Quadro 23 - Vida Útil Equipamento B.....	51
Quadro 24 - Vida Útil Equipamento C.....	51
Quadro 25 - Obsolescência Equipamento A	51
Quadro 26 - Obsolescência Equipamento B.....	52
Quadro 27 - Obsolescência Equipamento C.....	52
Quadro 28 - Custos Operacionais do Equipamento A.....	52
Quadro 29 - Custos Operacionais do Equipamento B.....	53
Quadro 30 - Custos Operacionais do Equipamento C.....	53
Quadro 31 - Valor de Revenda Equipamento A.....	54
Quadro 32 - Valor de Revenda Equipamento B.....	54
Quadro 33 - Valor de Revenda Equipamento C	54
Quadro 34 - TCO Fornecedor A.....	56
Quadro 35 - Resumo Cálculo TCO Fornecedor A	57
Quadro 36 - Resumo das Despesas/Receitas Fornecedor A.....	58
Quadro 37 - TCO Fornecedor B	59
Quadro 38 - Resumo Cálculo TCO Fornecedor B	60
Quadro 39 - Resumo das Despesas/Receitas Fornecedor B	61
Quadro 40 - TCO Fornecedor C	62
Quadro 41 - Resumo Cálculo TCO Fornecedor C	63
Quadro 42 - Resumo das Despesas/Receitas Fornecedor C	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Cit	Custos Iniciais Totais
Dt	Despesas Totais
GEC	Gestão Estratégica de Custos
IoT	Internet of Things
Rt	Renda Total
TCO	Total Cost of Ownership

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	OBJETIVOS	11
1.1.1	Objetivo Geral.....	11
1.1.2	Objetivos Específicos	12
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	INDÚSTRIA 4.0	14
2.2	ROBOTIZAÇÃO NA INDÚSTRIA	17
2.2.1	Robôs de Soldagem	18
2.3	GESTÃO ESTRATÉGICA DE CUSTOS.....	21
2.3.1	Total Cost of Ownership (TCO).....	22
2.3.2	TCO e a Gestão Estratégica de Custos	22
2.3.3	Aplicação do TCO.....	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1	METODOLOGIA DE TRABALHO.....	26
3.2	PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DA PROPOSTA	27
3.3	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	28
3.3.1	Custos Diretos e Indiretos	28
3.3.2	Seleção de Fornecedores.....	31
3.4	ESTRUTURAÇÃO DO CÁLCULO TCO	32
3.4.1	Análise do Cálculo TCO.....	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
4.1	VALIDAÇÃO DA PROPOSTA	37
4.1.1	Dados de Entrada dos Fornecedores.....	39
4.1.2	Dados Internos Operacionais.....	41
4.1.3	Valor de Revenda por Equipamento.....	53
4.2	TABULAÇÃO FORMULÁRIO PADRÃO	54
5	CONCLUSÕES.....	66
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	68
	REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

A competitividade industrial, acelera a busca por novos métodos e tecnologias, de vital importância para a saúde destas, em um cenário econômico atual muito volátil. Buscar alternativas que impactam em menor tempo de trabalho, qualidade assegurada e redução de custo dentro dos processos produtivos, são fatores essenciais quanto ao aumento da competitividade nas manufaturas industriais.

A Quarta Revolução Industrial, traz consigo um movimento de transformação dentro das indústrias, no que se refere a forma como estas criam, modificam e distribuem seus produtos. Incorporar tecnologia, sistemas e agilizar processos de manufatura e de gestão, é papel fundamental da Indústria 4.0 dentro das organizações (ARCIDIACONO; PIERONI, 2018). A integração deste modelo tecnológico, traz consigo alguns fatores muito importantes, como por exemplo uso e entrega de recursos de forma eficiente, e controle preciso sobre os processos. Segundo Rotta (2017) a adoção de conceitos da Indústria 4.0 na matriz produtiva brasileira poderia gerar uma economia de R\$ 73 bilhões ao ano. A quarta revolução industrial ou indústria 4.0 envolve o aumento da informatização na indústria de transformação, com máquinas e equipamentos totalmente integrados em redes de internet. Como resultado, tudo pode ser gerenciado em tempo real, até mesmo a partir de locais diferentes.

A robotização traz consigo uma série de melhorias dentro do seu pacote tecnológico, colocando em xeque métodos convencionais de produção que não mais comportam tamanha exigência de mercado, em termos de agilidade, qualidade e entrega. Robôs de Soldagem são alguns modelos de equipamentos dentro da manufatura tecnológica que trazem consigo resultados expressivos para o negócio.

Cabe as organizações e suas estruturas gerenciais optar pelos melhores equipamentos dentro da realidade ao qual estão inseridos, e assim ingressarem nesta nova realidade tecnológica da forma mais assertiva. A direção para a qual o mundo está indo agora é chamada de quarta revolução industrial, Indústria 4.0, ou seja, superando mais uma barreira em que a coexistência de máquinas, dispositivos e sistemas tornam-se um passo natural para o uso otimizado de recursos humanos (NWASUKA; NWAIWU; PRINCEWIL, 2022).

Apesar deste cenário tecnológico, de variada expectativa no âmbito empresarial quanto a uma melhora nos processos, máquinas, equipamentos e por fim resultados satisfatórios, as decisões gerenciais dentro do modelo de indústria atual, são em grande parte tomadas pelo método empírico.

O conhecimento adquirido pela experiência, tem uma maior valoração no momento de decisão entre um modelo ou outro e sua importância tecnológica. Sendo assim, é inegável que se torna mais confortável a escolha pelo processo convencional do que robotizado, na medida em que além do domínio empírico seja evidente a escolha pela alternativa de menor custo. A automação em qualquer tipo de processo pode economizar em mão de obra e reduzir a variabilidade no processo de manufatura. Normalmente justifica-se a automação com base na economia de mão de obra, mas, a invariabilidade do processo automatizado traz ganhos mais significativos (MEDINA; CRISPIM, 2010).

O processo de solda automatizado é realizado por robôs e auxiliado por sensores, garantindo acuracidade do processo, aumento da velocidade de ciclo, qualidade da solda e redução da interferência humana, visto que o operador só tem contato com a célula de soldagem quando vai posicionar/remover a peça do processo, quando inicializar o programa e quando realizar a inspeção visual das soldas ao final do processo (BOLMSJO apud FARIA; FILLETI; HELLENO, 2022).

Neste contexto, este estudo propõe a elaboração de uma “metodologia de referência para tomada de decisão quanto a viabilidade de aquisição de robôs de soldagem na indústria”, elucidando as ações gerenciais. Para isso, será utilizado o método de análise econômica *Total Cost of Ownership (TCO)*, estruturado de forma a concatenar fatores essenciais e retornar valores concisos sobre a melhor opção de escolha. Avaliar o custo total de propriedade (TCO) de robôs industriais é uma alternativa muito melhor para calcular todos os custos envolvidos durante o período de aquisição do equipamento pela empresa (LANDSCHEIDT; KANS, 2016).

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho de Dissertação, apresenta dois vieses centrais que podem ser vistos abaixo, divididos em Objetivo Geral e Objetivos Específicos e que corroboram com a temática proposta.

1.1.1 Objetivo Geral

Elaborar uma metodologia de referência para a aquisição de robôs de soldagem, de diferentes fornecedores, no que se refere aos custos dos processos de manufatura e a vida útil dos equipamentos, considerando a complexidade dos cenários industriais.

1.1.2 Objetivos Específicos

Facilitar a tomada de decisão gerencial quanto a escolha de robôs de soldagem, considerando fatores econômicos mais evidentes na indústria, através do método TCO.

A definição entre as melhores opções será balizada pelo resultado do TCO, obtido através de planilha eletrônica formatada para este fim. A sequência de 1 a 3, abaixo apresentada, representa a estrutura da metodologia:

- 1) Pesquisar e imputar parâmetros, categorias e variáveis essenciais quanto a aquisição de robôs de soldagem, entre diferentes fornecedores;
- 2) Elaborar uma ferramenta metodológica estruturada pelo método TCO (Planilha Eletrônica);
- 3) Identificar a melhor alternativa de robô de soldagem, tendo por base os parâmetros previamente determinados e o resultado de TCO obtido;

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Com intuito de atingir os objetivos propostos, esta dissertação conta com seis capítulos, detalhados abaixo e de forma sequenciada ao que se apresenta no trabalho:

O presente capítulo, introduz a temática central do trabalho, assim como situa o leitor sobre aquilo de mais relevante dentro do contexto atual da indústria e dos processos de soldagem, além de trazer informações pertinentes sobre de que forma a metodologia proposta pode impactar dentro deste cenário.

O segundo capítulo estratifica a fundamentação teórica, levando em consideração tudo aquilo de mais relevante no contexto da temática Indústria 4.0, Robotização, Soldagem e Engenharia Econômica, existe dentro do referencial bibliográfico proposto.

O terceiro capítulo apresenta as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento da metodologia proposta, assim como detalha a metodologia através de um Fluxograma, e esclarece a mesma através de um Processo de Construção. Um Planejamento Experimental é desvelado, afim de externar todas as categorias e variáveis mais relevantes dentro da questão proposta, fundamentado por uma Revisão Bibliográfica consistente e reconhecido por uma Estruturação de Cálculo de TCO concordante. Por fim, uma Análise de Cálculo é firmada, sustentando a metodologia proposta.

O quarto capítulo apresenta os Resultados e Discussões obtidos através do uso das ferramentas expostas anteriormente e que fazem parte do capítulo 3, assim como a utilização da revisão bibliográfica do capítulo 2, endossando aquilo que se busca para a metodologia proposta em termos de qualidade e confiabilidade.

O quinto capítulo traz consigo a conclusão do estudo, realizando um fechamento definitivo da proposta metodológica, validando esta no cenário industrial e viabilizando as decisões gerenciais de forma assertiva, quando da sua aplicação.

O sexto capítulo indica a possibilidade de continuação e aprofundamento da metodologia, criando um mecanismo automatizado onde dados imputados são processados instantaneamente e exteriorizam informações pertinentes acerca do tópico principal deste projeto. Este capítulo é intitulado de Sugestões para Trabalhos Futuros, e perfaz esta proposta metodológica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Manter a capacidade de concorrência no mercado, traz para as indústrias em âmbito geral, um diferencial quanto ao modelo estratégico, uma vez que superar os concorrentes na preferência dos consumidores é extremamente vital para o negócio. Criar soluções aos clientes, é tarefa diária da indústria, onde as estratégias corporativas traçam planos, sempre focados na saúde financeira da empresa, mas também nos novos negócios para seus produtos. Muitas empresas estão avaliando os conceitos e aplicações sintetizados sob o termo Indústria 4.0, para desenvolver suas próprias estratégias de negócio, que nesta nova disrupção industrial é baseada em alguns princípios básicos como a interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidades em tempo real, orientação para o serviço, etc. (NWASUKA; NWAIWU; PRINCEWIL, 2022).

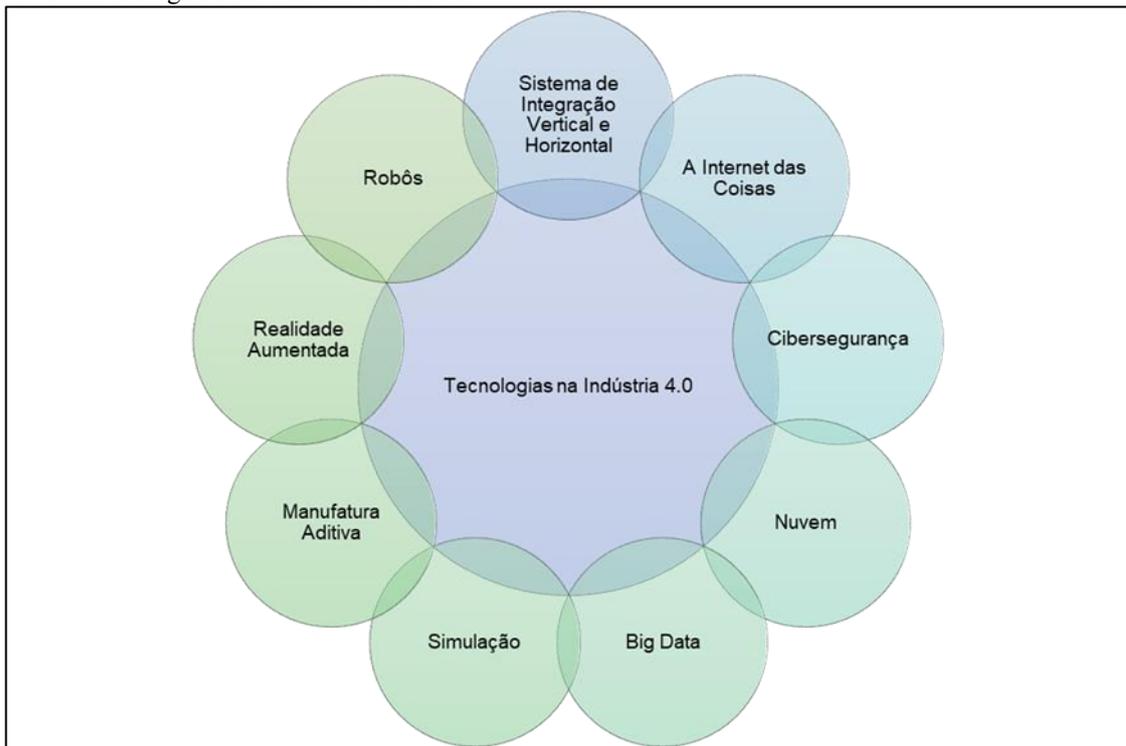
Este levantamento bibliográfico, aborda os principais aspectos da Indústria 4.0 e sua relação com robôs de soldagem na manufatura moderna. Somado a isso, serão esclarecidos aspectos da Engenharia Econômica voltada para investimentos nesta área, assim como os Fatores de Análise e o detalhamento do Método de Decisão de Escolha, no que se refere a viabilidade de Investimento.

2.1 INDÚSTRIA 4.0

O avanço tecnológico atual, com a criação da Internet das Coisas ou IoT (*Internet of Things*), representa na sua totalidade o que significa esta nova era digital, onde tudo se conecta, com troca de dados e informações em tempo real, fomentando a inovação tecnológica. A IoT é definida como um paradigma de computação que permite que dispositivos inter relacionados transfiram dados através de uma rede e se comuniquem entre si sem a necessidade de interação humano-humano ou humano-computador.

Até o final de 2020, havia 6,6 bilhões de dispositivos IoT ativos e conectados em todo o mundo, e estima-se que o impacto econômico potencial dos aplicativos IoT será de até US\$ 11,1 trilhões por ano até 2025. Esta é usada extensivamente em uma variedade de aplicações, como saúde, agricultura, transporte e varejo. Em particular, o segmento industrial foi classificado como sua principal área de aplicação em 2020, com uma participação global de 22%, onde é frequentemente referido como IIoT (*Industrial Internet of Things*) (TAYEH; SHAMI, 2021). Assim como a IoT, outros fatores contribuem para a definição da Indústria 4.0 e podem ser visualizados de forma clara na Figura 1:

Figura 1 - Tecnologias relacionadas à Indústria 4.0



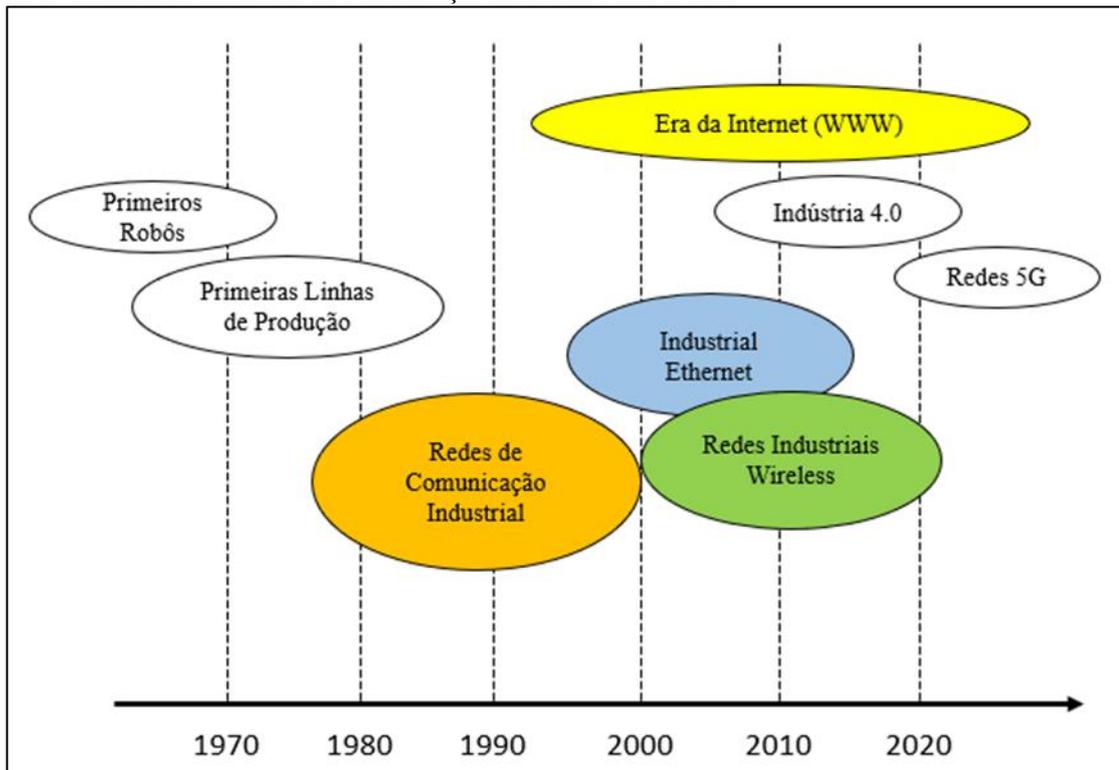
Fonte: Adaptado de Bahrin et al., 2016.

A 4ª Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, abrange todos estes aspectos anteriormente mencionados. Ela 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).

Todas estas tecnologias formam o conceito de Indústria 4.0 e representam de fato o que são as redes inteligentes no contexto industrial moderno. Sendo assim, dentro do âmbito atual de modernidade industrial, as empresas tem buscado constantemente a adequação de seus processos levando em conta a integralização de suas atividades. Com a Indústria 4.0, o uso de robôs será ainda maior, com equipamentos mais modernos e tecnológicos, permitindo mais destreza e flexibilidade (GRAU et al., 2017).

Seu objetivo fundamental é aumentar a competitividade por meio de esforços incessantes para melhorar a qualidade, aumentar a eficiência e reduzir custos (KIM et al., 2022). A Figura 2, representa a evolução da comunicação industrial ao longo dos anos, desde a inserção dos primeiros robôs em meados de 1970 até os dias atuais com Indústria 4.0.

Figura 2 - Momentos essenciais da comunicação industrial e da robótica



Fonte: GRAU et al., 2017.

Conforme dados da IFR (*International Federation of Robotics*) (2022), as instalações de robôs tiveram um aumento expressivo pós Pandemia de Covid-19, que foi um impulsionador da digitalização, com um incremento de 517.385 unidades, sendo este um novo nível recorde se comparado com os dados de 2018, desta mesma instituição, onde 422.271 unidades foram comercializadas. Corroborando com isso, o fato de as indústrias buscarem a modernização constante de seus processos, muito focadas na expansão dos negócios e as exigências dos clientes em termos de produtos. As características destes produtos sofrem sucessivas mudanças durante o ciclo de vida, tornando processos de produção anteriormente indispensáveis, em processos restringidos quanto a empregabilidade no cenário industrial atual.

Romano (2003), afirma que devido ao aumento da complexidade dos produtos, tem-se a incorporação de componentes de maior tecnologia, fabricados, normalmente, por empresas especializadas, implicando em inovações dos produtos e crescente desverticalização do processo de manufatura. Assim, novos encadeamentos desta indústria com outros setores industriais estão sendo criados, exigindo modernos modelos de desenvolvimento de produtos, que estabeleçam as formas de relacionamento entre os diversos setores envolvidos na cadeia produtiva.

2.2 ROBOTIZAÇÃO NA INDÚSTRIA

Melhorar o desempenho dos processos e otimizar tarefas rotineiras de produção, são atributos essenciais da robotização no contexto das manufaturas modernas. A mecanização das organizações, em decorrência do avanço da 4ª Revolução Industrial, alavancou a produção de modo geral, atendendo as exigências de mercado e tornando-se parte fundamental do planejamento operacional destas. 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).

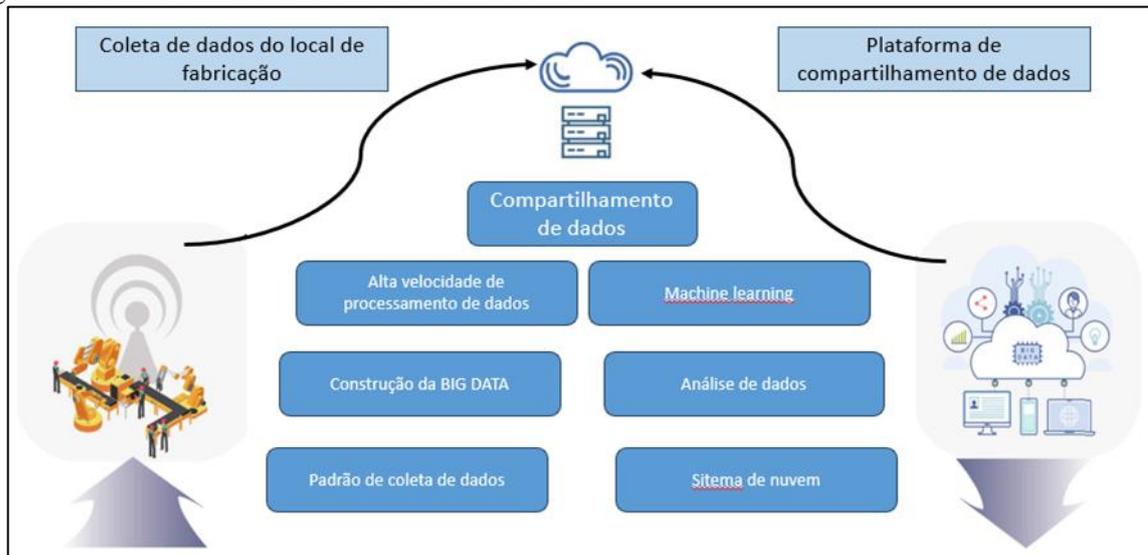
A introdução de robôs industriais é uma tendência acelerada dos últimos anos. Entre 2005 e 2008, o número de novos robôs construídos foi de aproximadamente 110.000 por ano. A partir de 2011, ultrapassou a marca de 150.000 robôs, e em 2014 o número foi de 229.000. Os principais exploradores de robôs são as indústrias automotiva e eletrônica (KUTS et al., 2016).

A Robotização cria um cenário disruptivo na indústria, onde processos são integrados e elevam o nível de organização e gestão da cadeia de suprimentos. Essas máquinas são programadas, e seu funcionamento com movimentos rápidos, eficazes e com sincronia, alavancam a produção a outro patamar. Os robôs desempenham um papel importante na indústria de manufatura moderna. O número de robôs industriais multifuncionais desenvolvidos por players da Indústria 4.0 somente na Europa quase dobrou desde 2004.

Uma face essencial da Indústria 4.0 são os métodos de produção autônomos alimentados por robôs que podem concluir tarefas de forma inteligente, com foco em segurança, flexibilidade, versatilidade e colaboração (BAHRIN et al., 2016). A manufatura inteligente é um conceito geral que tem evoluído continuamente junto com o desenvolvimento e a integração da tecnologia da informação e das tecnologias de manufatura (KIM et al., 2022).

Estão sendo desenvolvidos e aprimorados novos modelos de processo nas indústrias, onde sistemas comunicam-se com equipamentos em tempo real, e estas informações são armazenadas em um banco de dados. Um exemplo de manufatura inteligente para as próximas gerações é o proposto abaixo, por Kim et al. (2022), onde qualidade do produto, flexibilidade eficiência e sustentabilidade podem ser melhorados, atingindo gestão e inovação de produção. Tudo isso através de uma rede digital, conforme ilustrado na Figura 3:

Figura 3 - Sistema de Manufatura estruturado em nuvem



Fonte: Adaptado de Kim et al., 2022.

Fica evidente que na medida em que os processos se alteram alavancados pela expansão constante das indústrias inteligentes nesta era essencialmente digital da Indústria 4.0, a execução das tarefas fabris deve substancialmente migrar para uma perspectiva tecnológica voltada para a robotização.

Robôs manipuladores podem ser utilizados em diferentes áreas: soldagem (soldagem a arco, soldagem a ponto, soldagem por fricção), embalagem e paletização de produtos, processo de montagem, acabamento, colagem, pintura, usinagem (madeira, plástico, alumínio), corte (corte a laser, plasma corte), varredura de superfície para fins de medição (varredura a laser) ou inspeção (KUTS et al., 2016). No subcapítulo a seguir, como foco deste trabalho, serão tratadas faces tecnológicas no que se refere a robôs de soldagem no âmbito industrial.

2.2.1 Robôs de Soldagem

Os manipuladores robóticos dotados de um software e sensores que porventura estejam sendo utilizados, são capazes de interagir com o meio, o que os tornam capazes de tomar decisões de acordo com sinais que são realimentados através de informações extraídas do ambiente externo (COELHO et al., 2021). Estas características, tornam os sistemas robóticos mais eficientes, de ampla abrangência e fácil controle.

A manufatura inteligente é uma visão de mundo de manufatura moderna na qual ferramentas e máquinas de manufatura são conectadas em rede, sensores monitorados e controlados por inteligência computacional avançada. A fabricação inteligente visa melhorar a qualidade dos produtos, a produtividade e a sustentabilidade (GAMAL et al., 2021). Em linhas gerais, a área de soldagem vem sofrendo significativas mudanças ao longo dos anos, especialmente no aspecto da robotização, onde todos os fatores comentados anteriormente são levados em consideração no momento de sua adoção pelas indústrias.

Considerando a Indústria 4.0, presente de forma incisiva na realidade atual das indústrias e a robotização como parte deste avanço, a área de soldagem sofreu relevantes mudanças no decorrer dos últimos anos, para atender aquilo que se propõe em termos de redes inteligentes dentro deste meio. Tão grande é a importância da área de soldagem neste contexto que atualmente, mais de 50 diferentes processos têm alguma utilização industrial e a soldagem é o mais importante método para a união permanente de metais.

Esta importância é ainda mais evidenciada pela presença de processos de soldagem e afins nas mais diferentes atividades industriais, incluindo desde segmentos de baixa tecnologia (a indústria serralheira, por exemplo) até aqueles de elevada tecnologia e complexidade (as indústrias nuclear e aeroespacial, por exemplo) (MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2012).

Financeiramente, estima-se que uma melhoria de produtividade de 1% em toda a indústria de manufatura pode resultar em uma economia anual de US\$ 500 milhões, enquanto uma quebra na linha de produção pode custar até US\$ 50 mil por hora. Além disso, prever anomalias a tempo pode reduzir o número de avarias em até 70%, os custos de manutenção em até 30% e os reparos programados em até 12% (TAYEH; SHAMI, 2021). Na Figura 4, alguns modelos de robôs de soldagem podem ser visualizados:

Figura 4 - Modelos de robôs de soldagem

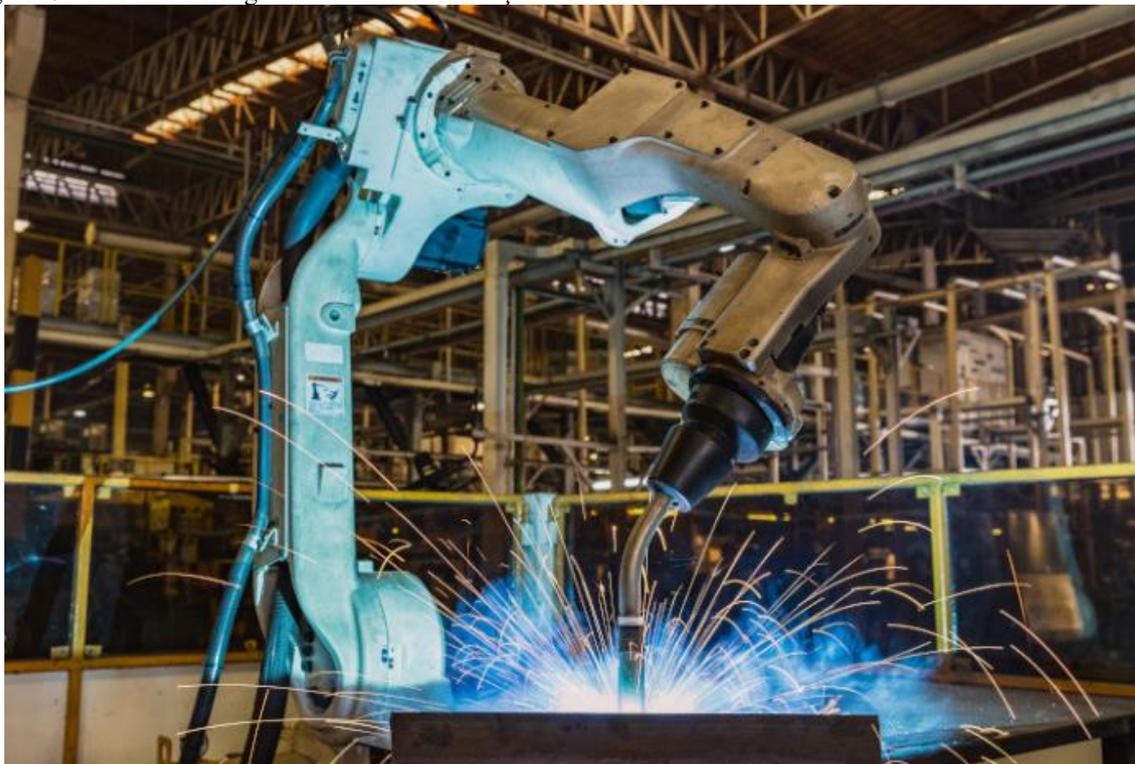


Fonte: Kuka, 2023.

Sendo assim, a escalada tecnológica neste modelo de processo de fabricação, ganhou notada relevância nos últimos anos, considerando aspectos financeiros e de resultados. A inserção da automação nos processos de soldagem, tornaram tarefas antes intrínsecas a modelos convencionais de operação, de fácil absorção pelo novo modelo tecnológico e robotizado. Para Medina e Crispim (2010), a escalada tecnológica global, trilhada pela Quarta Revolução Industrial, processos de soldagem convencionais, serão dominados em grande parte pelos processos robotizados, onde a economia com mão de obra e invariabilidade de processo, são aspectos extremamente relevantes no momento da escolha.

A robotização na área da soldagem assume papel fundamental dentro das fábricas inteligentes e propicia além da expansão tecnológica, um novo viés para fatores relevantes dentro dos processos produtivos, como por exemplo, agilidade, qualidade, segurança e eficácia. Ter estes elementos dentro de uma linha de produção, reduz acentuadamente fatores de risco do processo. Ambientes colaborativos são cada vez mais a realidade das indústrias, onde operadores programam máquinas para executar tarefas que antes eram derivadas de força humana. Na Figura 5, pode ser visualizado um robô de soldagem em funcionamento, durante processo de fabricação em uma indústria manufatureira.

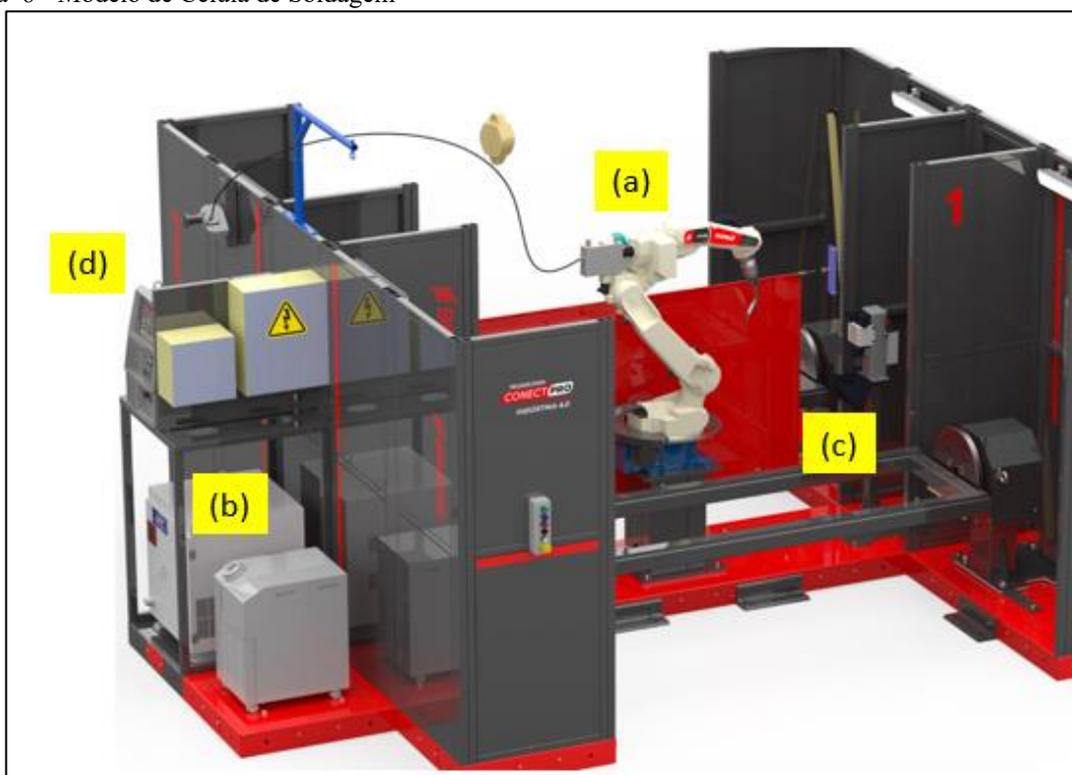
Figura 5 - Robô de Soldagem em Linha de Produção



Fonte: Almacam, 2023.

Estas super máquinas, passaram a comunicar-se entre si, integrando processos e retornando informações para um vasto banco de dados, acessado por gestores, para equalização das operações, em termos de produtividade e entrega. Dispor um robô de soldagem, juntamente com demais equipamentos periféricos e somado a isso um gabarito de soldagem, uma nova configuração de equipamento é formada. Na Figura 6, é possível identificar um Modelo de Célula de Soldagem, composta por (a) Braço Robótico, (b) Fonte de Soldagem, (c) Mesa de Soldagem e (d) Painel de Controle:

Figura 6 - Modelo de Célula de Soldagem



Fonte: Sumig, 2023.

2.3 GESTÃO ESTRATÉGICA DE CUSTOS

Em grande parte das indústrias, as ações estratégicas corporativas, divergem das ações estratégicas de manufatura, uma vez que existe um desalinhamento de interesses, que por conseguinte impacta na competitividade do negócio. A manufatura afeta a estratégia corporativa e a estratégia corporativa afeta a manufatura. A estratégia de manufatura deve alinhar-se à estratégia corporativa de forma a agregar competitividade ao negócio de forma geral (MEDINA; CRISPIM, 2010).

É notório que a competitividade das indústrias, na grande maioria das vezes, passa muito pelo alinhamento interno entre manufatura e as ações gerenciais estratégicas. Este alinhamento, possibilitará que o negócio prospere e atinja seu mais alto grau de rendimento, focado em resultados e impacto imediato como um todo.

2.3.1 Total Cost of Ownership (TCO)

O investimento em células de robôs industriais geralmente é baseado na oferta inicial e no tempo de retorno.

No entanto, as decisões de aquisição baseadas apenas no preço inicial são muitas vezes decisões ruins, pois não consideram fatores de custo ocultos, como manutenção ou consumo de energia. Avaliar o custo total de propriedade (TCO) de robôs industriais é uma alternativa muito melhor para calcular todos os custos envolvidos durante a propriedade da empresa (LANDSCHEIDT; KANS, 2016). O custo total de propriedade (TCO) é uma ferramenta e filosofia de compra que visa entender o verdadeiro custo de compra de um determinado bem ou serviço de um determinado fornecedor. Embora existam referências à abordagem TCO na literatura há algum tempo, muitas empresas, principalmente nos EUA, demoraram a adotar o TCO (ELLRAM, 1995).

2.3.2 TCO e a Gestão Estratégica de Custos

O modelo TCO foi criado pelo *Gartner Group*, empresa norte-americana de consultoria e pesquisa de mercado de tecnologia da informação (TI), com o objetivo de proporcionar um significado quantitativo para se entender o desempenho qualitativo da organização (SCHMIDT et al., 2013). Para avaliar uma decisão de investimento, o TCO considera não apenas os custos de compra (custos diretos), mas também os custos consequentes ao longo de todo o ciclo de vida (custos indiretos). O método é frequentemente utilizado na gestão estratégica de custos para explorar grandes potenciais na seleção de fornecedores e decisões de adjudicação (MAISENBACHER et al., 2016).

A Figura 7 mostra as etapas que compõe o TCO dentro do Ciclo de Vida do Produtos, como Gestão Estratégica de Custos:

Figura 7 - Gestão Estratégica de Custos



Fonte: Autor, 2023.

Dentro da Gestão Estratégica de Custos, os Custos Indiretos podem ser classificados unicamente como Custos de Aquisição. Ainda dentro deste modelo estratégico, os Custos de Operação podem ser divididos em Mão de Obra, Manutenção, Treinamento e Depreciação. A Figura 8, ilustra o Método TCO dividido entre duas macro áreas: Custo Inicial de Investimento e Custo de Operação:

Figura 8 - Modelo TCO (Total Cost of Ownership)



Fonte: Adaptado de Mendes, 2011.

2.3.3 Aplicação do TCO

O Custo Total de Propriedade (TCO), se tornou uma das principais metodologias para avaliar investimentos em ativos de manufatura. Esta é uma abordagem complexa que exige da empresa uma definição quanto aos custos mais importantes ou significativos no processo de aquisição. Conforme Landscheidt e Kans (2016), equipamentos de automação e particularmente robôs industriais são o futuro dos sistemas de manufatura, especialmente em países altamente industrializados. A possibilidade de os clientes decidirem quais produtos têm o menor custo total de propriedade (TCO) permite que eles ganhem vantagem competitiva, custos operacionais mais baixos e previsibilidade financeira.

Quando o consumidor não conhece o custo total de propriedade, o custo de aquisição é o principal e, às vezes, o único critério de seleção para fazer a compra. O fabricante de sistema complexo que garante que o cliente obtenha o máximo uso de um produto pelo menor custo total de propriedade pode não saber como o cliente verá as informações em uma decisão de compra. Sem um entendimento claro sobre o valor de exceder as expectativas do cliente quanto ao custo total de propriedade, pode haver pouco ou nenhum incentivo para o fabricante de sistemas complexos gastar os recursos ou o tempo necessário para fabricar um produto que faz pouco mais do que atender aos requisitos mínimos do cliente (KING, 2008).

Para Ferrin e Plank (2002), os critérios para a seleção de fornecedores são divididos em treze categorias: Abaixo, serão detalhadas as categorias mencionadas pelos autores:

- 1) Custo de Operações**
- 2) Qualidade**
- 3) Custos Relacionados ao Cliente**
- 4) Logística**
- 5) Vantagens Tecnológicas**
- 6) Preço Inicial**
- 7) Custo de Oportunidade**
- 8) Capacidade e Confiabilidade**
- 9) Manutenção**
- 10) Custos de Estoque**
- 11) Custos de Transação**
- 12) Ciclo de Vida**
- 13) Diversos**

Cada critério, segundo os mesmos autores, surge de pesquisas realizadas com profissionais da área de Compras. Os autores sugerem ainda que, as empresas adotem perspectivas de longo prazo e não de valor inicial para avaliar situações de compras de suprimentos. Segundo estes, a literatura mostra claramente a necessidade de diferentes direcionadores de custos para estimar de forma precisa o TCO de determinado produto. Na sequência, serão definidos para este trabalho quais as categorias mais relevantes dentro das treze opções indicadas pelos autores, assim como serão reveladas as principais variáveis. Ainda neste viés, é importante destacar que o TCO é particularmente relevante para apoiar a tomada de decisão em termos de compra de materiais e componentes para a produção de uma grande quantidade de produtos (AFONSO, 2013).

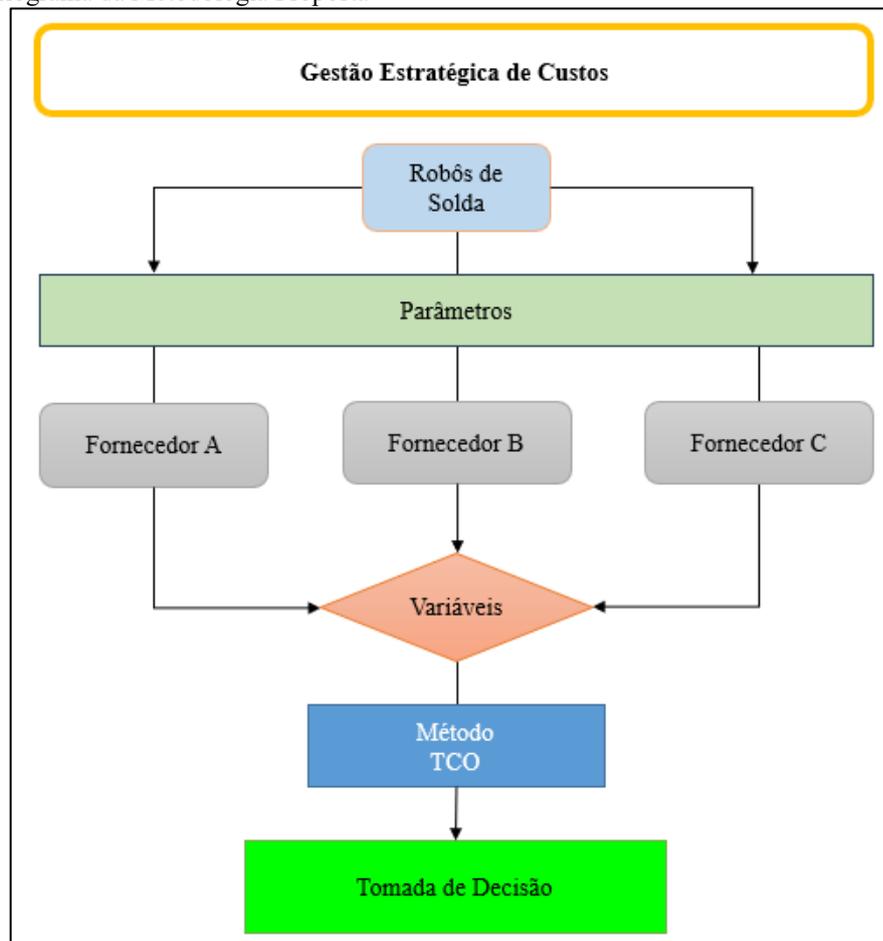
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Avaliar os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento deste trabalho é de grande valia no que se refere a busca de respostas para a temática abordada. Ter um planejamento experimental conciso e gerador de resultados, engrandece expressivamente a ideia central do tema proposto. Neste capítulo, serão apresentados os principais aspectos quanto a concepção da Metodologia de Referência para Robôs de Soldagem na Indústria.

3.1 METODOLOGIA DE TRABALHO

A metodologia de trabalho considerada, valoriza a análise de fatores essenciais para uma gestão estratégica de custos eficiente, corroborando com as informações levantadas dentro da revisão bibliográfica apresentada no capítulo anterior. Abaixo, o fluxograma em evidência (Figura 9), torna-se um direcionador para a proposta metodológica abordada neste trabalho:

Figura 9 - Fluxograma da Metodologia Proposta



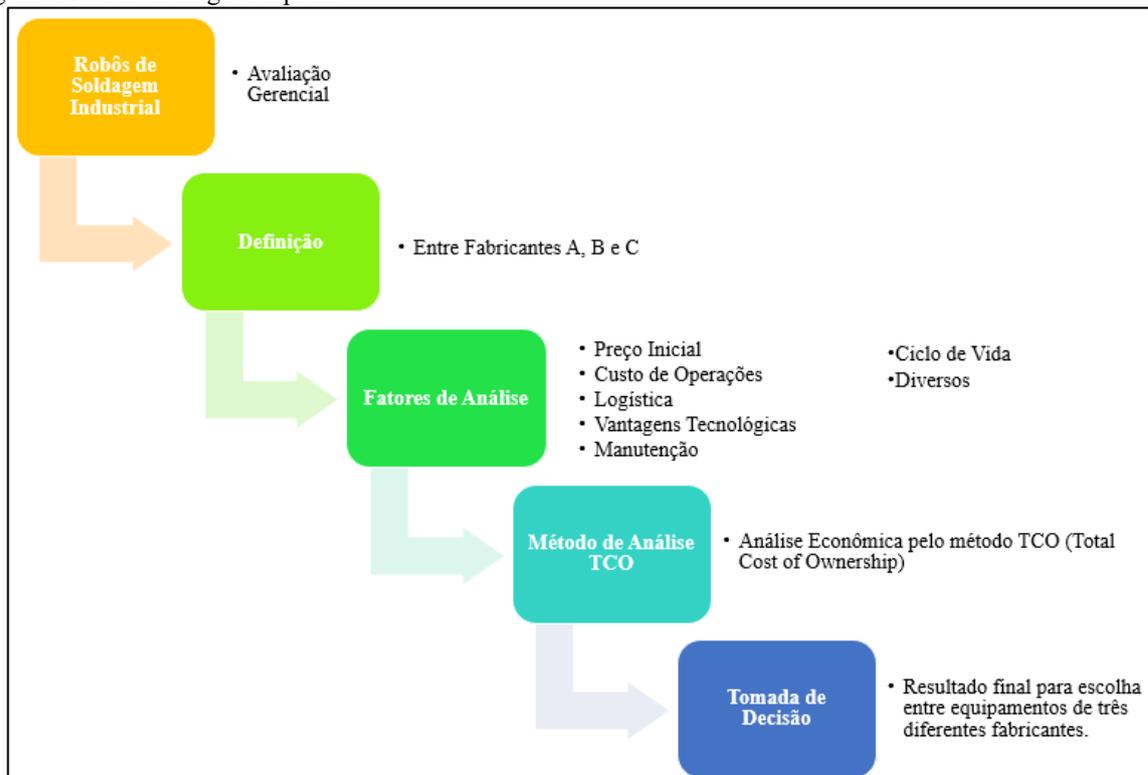
Fonte: Autor, 2023.

Na Figura 9, pode ser visualizado o Fluxograma da Metodologia Proposta, onde três diferentes fornecedores para Robô de Soldagem são avaliados pela metodologia, que considera variáveis de grande importância dentro da indústria manufatureira.

3.2 PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DA PROPOSTA

Considerou-se para a construção da proposta, a bibliografia dos autores Ferrin e Plank (2002), detalhada anteriormente na Revisão Bibliográfica e que descreve treze critérios que podem ser utilizados na análise de TCO de um produto. Sendo assim, neste estudo serão utilizadas 7 categorias e 20 variáveis, tendo por base benchmarking realizado em empresas de médio e grande porte que fazem uso da ferramenta, e também profissionais da área de soldagem com relevante conhecimento sobre o tema. O processo como um todo, pode ser visualizado na Figura 10, dentro da Metodologia Proposta:

Figura 10 - Metodologia Proposta



Fonte: Autor, 2023.

Além do mais, sabe-se que a Gestão Estratégica de Custos tem como suporte o TCO, e este se conecta de forma direta à anteriormente citada, formando uma relação mútua ao qual é ilustrada na Figura 11, abaixo representada:

Figura 11 - Relação entre Gestão Estratégica de Custos e o TCO



Fonte: Adaptado de Ellram e Siferd (1998).

3.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O método experimental utilizado neste trabalho, consiste na elaboração de uma metodologia de referência para apurar os custos de compra, durante a posse de determinado Robô de Soldagem, em seu ciclo de vida. Para isso, se levará em consideração a compreensão dos custos mais significativos para o ativo durante seu ciclo de vida.

3.3.1 Custos Diretos e Indiretos

Para Mendes (2011), o princípio básico do TCO é a avaliação de todos os custos diretos e indiretos durante o ciclo de vida de um produto, considerando-se para o efeito os custos de aquisição e obtenção do produto, os gastos de operações e manutenções necessários e eventuais custos de disposição e é aplicável para todo o tipo de decisões de compras. Ainda para Mendes (2011), existem cinco etapas genéricas que devem ser consideradas para efeito de compra do produto, e que vão de encontro ao que pregam Ferrin e Plank (2002), sendo elas:

- 1) Definição de todas as formas de custos diretos e indiretos que possam vir a afetar a compra em questão, bem como a possibilidade de existência de diversos cenários;
- 2) Definir a forma como os diversos custos serão medidos, comparados e monitorizados, incluindo os menos mensuráveis, como a qualidade do produto e a satisfação do cliente;
- 3) Obtenção dos valores de custo definidos em 1) para que possam ser colocados no modelo matemático concebido em 2);
- 4) Cálculo do TCO;
- 5) Decisão de compra, tendo por base os diversos cenários de TCO existentes.

Seguindo nesta linha, esta proposta foi elaborada visando a aplicação para auxiliar a tomada de decisão, em indústrias de pequeno porte, no momento da compra de Robôs de Soldagem. Foram analisados os critérios de maior impacto, seguindo a metodologia de Ferrin e Plank (2002). Por fim, serão consideradas 7 categorias de maior impacto dentro do tema proposto e também as principais variáveis. Conforme listados abaixo e balizados pela bibliografia e pelos profissionais da área de soldagem, as Categorias e Variáveis que serão utilizados nesta metodologia são:

- 1) Preço Inicial;
 - Custo unitário
 - Despesas de capitais iniciais
- 2) Custos de Operações;
 - Eficiência da máquina
- 3) Logística
 - Frete
 - Embalagem
 - Disponibilidade
 - Prazo de entrega
 - Taxas de importação
- 4) Vantagens Tecnológicas
 - Obsolescência de design
 - Adequação para uso pretendido

5) Manutenção

- Suprimentos
- Treinamento
- Tempo de inatividade
- Peças de reposição
- Cronograma de manutenção preventiva

6) Ciclo de Vida

- Vida útil
- Obsolescência

7) Diversos

- Custos de descarte
- Custos de suporte
- Instalação

Os 7 critérios adaptados da metodologia de Ferrin e Plank (2002), visualizados anteriormente, podem ser facilmente compreendidos dentro do contexto TCO, na Figura 12.

Figura 12 - Categorias de Custos do modelo TCO proposto



Fonte: Adaptado de Pessin et al., 2017.

Sendo assim, desenvolve-se um Planejamento Experimental, que pode ser melhor visualizado no Quadro 1, onde existem “Categorias” que representam de forma macro os principais aspectos avaliados dentro do Planejamento Experimental. Para efeitos de cálculo de TCO, estas “Categorias”, se subdividem em “Variáveis”, representando custos diretos e indiretos para análise de compra do produto. Foram considerados três diferentes fornecedores, onde cada um apresenta valores diferentes de orçamentos para um mesmo modelo de produto.

3.3.2 Seleção de Fornecedores

A seleção dos fornecedores, de grande importância para a gestão de compras e cadeia de suprimentos das empresas, neste trabalho levou em consideração alguns parâmetros, que de acordo com Beamon (1999, apud LIMA JÚNIOR; CARPINETTI, 2015), ressalta que os critérios usados na seleção de fornecedores devem atender às seguintes premissas: serem consistentes com as metas e objetivos da organização; serem precisos e possuírem nomes específicos; serem calculados a partir de todos os atributos pertinentes; serem universais e comparáveis a partir de várias condições de operação. Nesse viés, seguindo alguns critérios sugeridos para seleção de fornecedores, pelos autores Lima Junior e Carpinetti (2015), considerou-se neste estudo:

- Capacidade Técnica
- Compromisso com a qualidade
- Confiabilidade de entrega
- Comunicação
- Garantia
- Localização Geográfica
- Relacionamento
- Poder Financeiro
- Reputação

Por depender de muitos fatores, o processo de seleção de fornecedores vem sendo predominantemente abordado na literatura acadêmica como um problema de tomada de decisão, no qual diversos critérios devem ser considerados no julgamento das possíveis empresas fornecedoras (LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2015).

Quadro 1 - Planejamento Experimental

Sequência	Categorias	Variáveis	Fornecedor A (R\$)	Fornecedor B (R\$)	Fornecedor C (R\$)
1	Preço Inicial	Custo unitário	R\$ -	R\$ -	R\$ -
		Despesas de capitais iniciais	R\$ -	R\$ -	R\$ -
2	Custo de Operações	Eficiência da máquina	R\$ -	R\$ -	R\$ -
3	Logística	Frete	R\$ -	R\$ -	R\$ -
		Embalagem	R\$ -	R\$ -	R\$ -
		Disponibilidade	R\$ -	R\$ -	R\$ -
		Prazo de entrega	R\$ -	R\$ -	R\$ -
		Taxas de importação	R\$ -	R\$ -	R\$ -
4	Vantagens Tecnológicas	Adequação para uso pretendido	R\$ -	R\$ -	R\$ -
5	Manutenção	Suprimentos	R\$ -	R\$ -	R\$ -
		Treinamento	R\$ -	R\$ -	R\$ -
		Tempo de inatividade	R\$ -	R\$ -	R\$ -
		Peças de reposição	R\$ -	R\$ -	R\$ -
		Cronograma de manutenção preventiva	R\$ -	R\$ -	R\$ -
6	Ciclo de Vida	Vida útil	R\$ -	R\$ -	R\$ -
		Obsolescência	R\$ -	R\$ -	R\$ -
7	Diversos	Custos de descarte	R\$ -	R\$ -	R\$ -
		Custos de suporte	R\$ -	R\$ -	R\$ -
		Instalação	R\$ -	R\$ -	R\$ -
TCO			R\$ -	R\$ -	R\$ -

Fonte: Autor, 2023.

3.4 ESTRUTURAÇÃO DO CÁLCULO TCO

O Cálculo TCO utilizado neste trabalho, consiste basicamente na tabulação de dados coletados em três diferentes fornecedores de Robôs de Soldagem (Fornecedor A, Fornecedor B, Fornecedor C), cada qual utilizando as mesmas “Especificações Técnicas” para equipamento de soldagem, conforme segue no Quadro 2:

Quadro 2 - Especificações da Célula de Soldagem

Especificações da Célula de Soldagem	
<i>Parâmetro Considerado</i>	<i>Resposta Avaliada</i>
Tipo de Solda	MIG/MAG
Dimensão da estação de trabalho da mesa	750 x 2000 mm
Capacidade de carga da mesa máxima	1000 kg
Corrente máxima permitida para fonte de solda	63 A
Corrente máxima permitida para controladora e robô	16A
Alimentação	220 V a 380 V trifásica
Peso máximo	3000 kg
Potência máxima	26 Kva
Pressão máxima	6 bar
Vazão máxima	8,8 L/s
Dimensões (L x A x P)	3750 mm x 2933,4 mm x 4362,8 mm
Tamanho em m ²	14,00 m ²
Segurança ocupacional requerida	NR 12
Conectividade	Indústria 4.0

Fonte: Autor, 2023.

Estas especificações, foram determinadas de acordo com a necessidade atual da empresa parceira e validada em concordância com a gestão de produção desta. Considerando então estas especificações, cada fornecedor poderá definir a melhor solução comercial para Célula de Soldagem, e enviar sua melhor proposta comercial. Tendo a proposta comercial de cada fornecedor, os dados serão compilados no Quadro 3, Formulário Padrão.

Quadro 3 - Formulário Padrão TCO

TCO - Total Cost of Ownership				
Nome do produto/serviço:		Célula de Soldagem		
Vida útil esperada do item (anos)				
Gestão Estratégica de Custos				
Categoria 1	Variáveis			R\$ Custos Subtotais (Ano)
Preço Inicial	Custo unitário			R\$ -
	Despesas de capitais iniciais			R\$ -
Subtotal				R\$ -
Categoria 2	Variáveis			R\$ Custos Subtotais (Ano)
Custo de Operações	Eficiência da máquina			R\$ -
	Economia de mão de obra			R\$ -
Subtotal				R\$ -
Categoria 3	Variáveis	Custo Unitário (Mês)	Quantidade	R\$ Custos Subtotais (Ano)
Logística	Frete	R\$ -	0	R\$ -
	Embalagem	R\$ -	0	R\$ -
	Disponibilidade	R\$ -	0	R\$ -
	Prazo de entrega	R\$ -	0	R\$ -
	Taxas de importação	R\$ -	0	R\$ -
Subtotal				R\$ -
Categoria 4	Variáveis	Custo Unitário (Mês)	Quantidade	R\$ Custos Subtotais (Ano)
Vantagens Tecnológicas	Adequação para uso pretendido	R\$ -	0	R\$ -
Subtotal				R\$ -
Categoria 5	Variáveis	Custo Unitário (Mês)	Quantidade	R\$ Custos Subtotais (Ano)
Manutenção	Suprimentos	R\$ -	0	R\$ -
	Treinamento	R\$ -	0	R\$ -
	Tempo de inatividade	R\$ -	0	R\$ -
	Peças de reposição	R\$ -	0	R\$ -
	Cronograma de manutenção preventiva	R\$ -	0	R\$ -
Subtotal				R\$ -
Categoria 6	Variáveis	Custo Unitário (Mês)	Quantidade	R\$ Custos Subtotais (Ano)
Ciclo de Vida	Vida útil	R\$ -	0	R\$ -
	Obsolescência	R\$ -	0	R\$ -
Subtotal				R\$ -
Categoria 7	Variáveis			R\$ Custos Subtotais (Ano)
Diversos	Custos de descarte			R\$ -
	Custos de suporte			R\$ -
	Instalação			R\$ -
Subtotal				R\$ -
RENDA				R\$ Rendas Subtotais (Ano)
Receita de Capital (único e não por ano)	Valor de venda do equipamento			R\$ -
	Valor de venda/resgate de peças			R\$ -
Subtotal				R\$ -

Cada “Categoria”, está dividida em “Variáveis”, e cada variável representa um critério de avaliação, que será valorado na moeda local (Reais). As categorias são somadas e retornam valores de “Custos Subtotais por Ano”, assim como cada “Categoria” é multiplicada pela “Vida Útil da Célula de Soldagem” e retorna o “Custo Total Durante Todo Ciclo de Vida”, dentro da respectiva “Categoria”.

É possível ainda, identificar dentro de cada “Categoria”, o percentual do TCO. O detalhamento do Cálculo, pode ser visto no Quadro 4, “Resumo”:

Quadro 4 - Resumo de Cálculo

Resumo	
Custos Totais por Ano	Custos Totais Durante Todo Ciclo de Vida
Categoria 1: Preço Inicial	
R\$ -	único, portanto, não aplicável
Categoria 2: Custo de Operações	
R\$ -	R\$ -
Categoria 3: Logística	
R\$ -	R\$ -
Categoria 4: Vantagens Tecnológicas	
R\$ -	R\$ -
Categoria 5: Manutenção	
R\$ -	R\$ -
Categoria 6: Ciclo de Vida	
R\$ -	R\$ -
Categoria 7: Diversos	
R\$ -	R\$ -
Renda - Receita de Capital	
R\$ -	R\$ -

Fonte: Autor, 2023.

Para fins de conclusão de cálculo, o Quadro 5, apresenta os resultados de cada “Categoria”, onde o “Custo Total de Propriedade” representa a soma dos “Custos Iniciais Totais” com as “Despesas Totais Durante Toda a Vida” da célula de soldagem, subtraindo-se a “Renda Total” do produto:

Quadro 5 - Resultado TCO

Resumo das despesas / receitas	Reais (R\$)		TCO (%)
Custos iniciais totais	R\$	-	0,00%
Despesas totais por ano	R\$	-	0,00%
Despesas totais durante toda a vida	R\$	-	0,00%
Renda total	R\$	-	0,00%
CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE	R\$	-	0,00%

Fonte: Autor, 2023.

Além do resultado do TCO para o produto em questão (Célula de Soldagem), pode-se visualizar no Quadro 5, o quanto representa cada “Categoria”, dentro do TCO em percentual. A Equação utilizada no cálculo do TCO, pode ser visualizada na Equação 1:

Equação 1 - Cálculo TCO

$$TCO = (Cit + Dt) - Rt$$

Onde:

Cit: Custos Iniciais Totais

Dt: Despesas Totais Durante Toda Vida

Rt: Renda Total

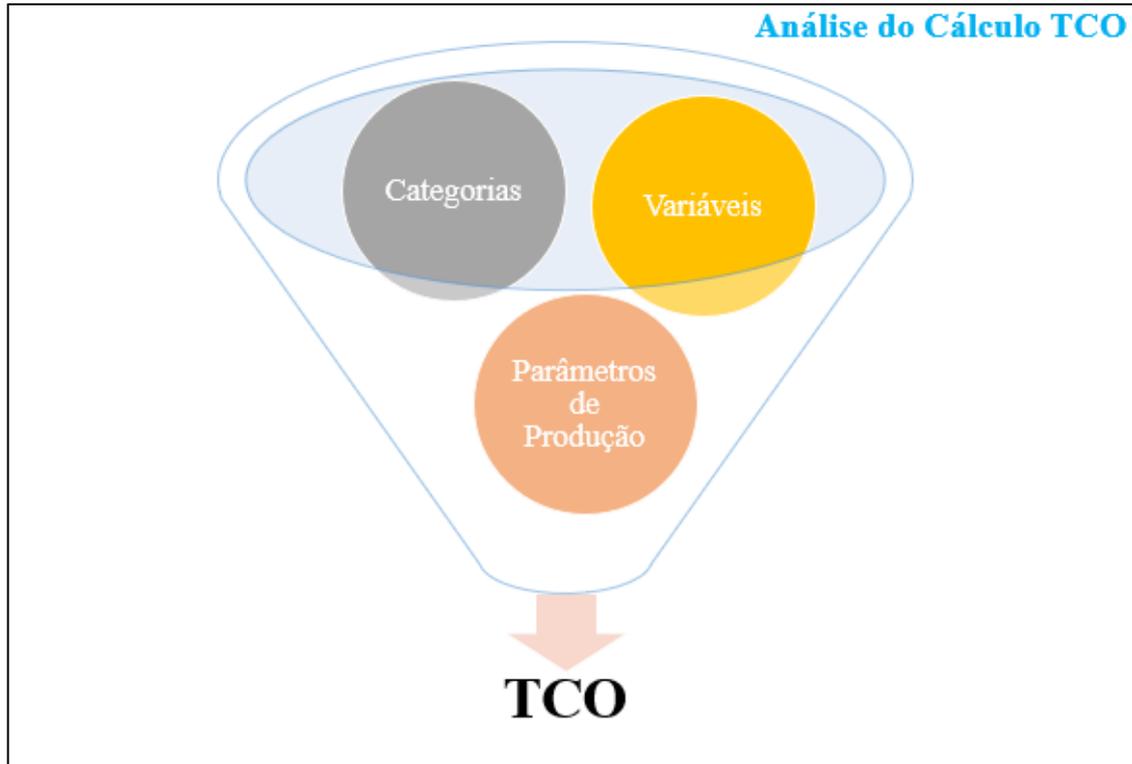
TCO: Total Cost Ownership

3.4.1 Análise do Cálculo TCO

Com os resultados do cálculo TCO, obtidos através da construção do “Formulário Padrão” e apresentados de forma resumida no “Resumo de Cálculo” e “Resultado TCO”, o processo de análise do resultado pode ser realizado de forma assertiva.

O processo de escolha e definição está sintetizado basicamente em analisar os resultados obtidos e considerando o valor de resultado para TCO, definir qual a melhor alternativa possível entre os fornecedores A, B e C. Sendo assim, quanto menor o TCO melhor a opção de compra para célula de soldagem. Abaixo segue representação da Análise do Cálculo TCO, na Figura 13:

Figura 13 - Análise do Cálculo TCO



Fonte: Autor, 2023.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, faz-se uma análise e discussão de três diferentes situações, motivadas por três diferentes resultados, devidamente selecionados, seguindo o padrão previamente discutido no capítulo anterior. Estes resultados, evidenciam o cálculo TCO dentro daquilo que se propõe como metodologia.

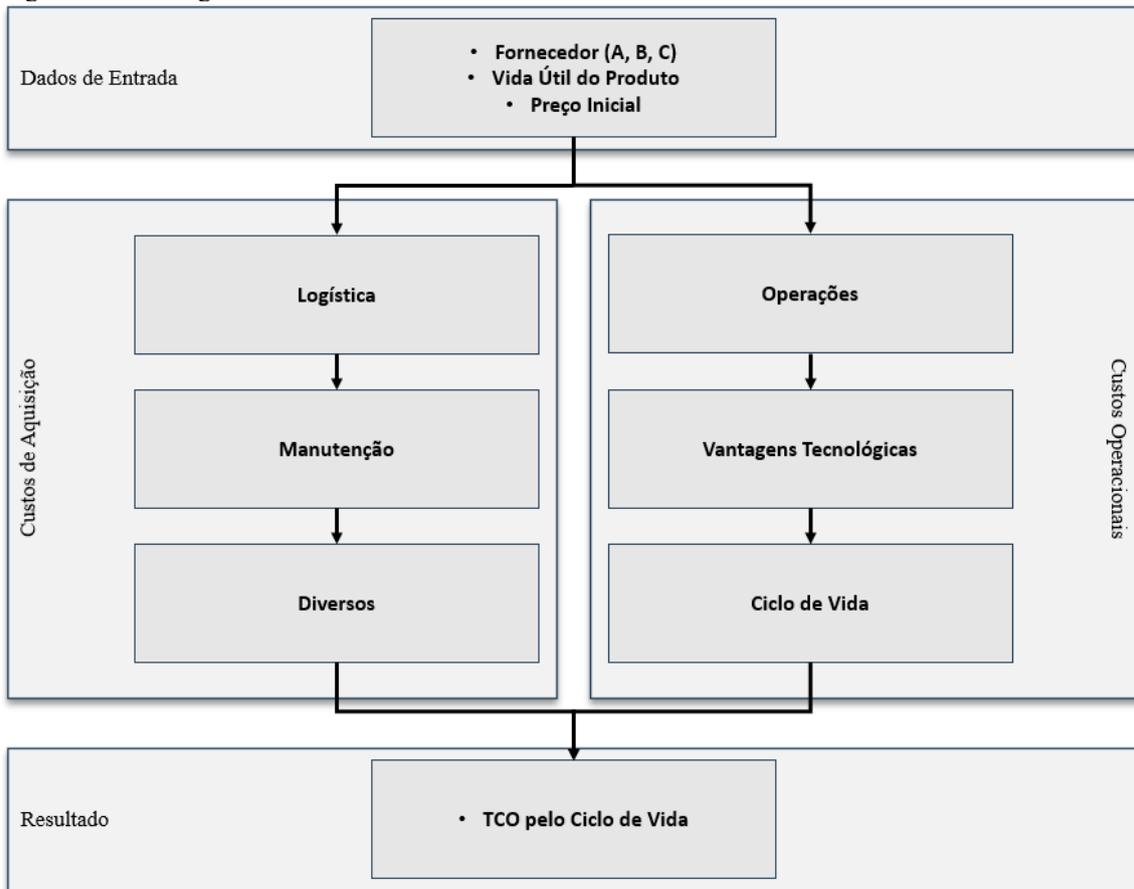
4.1 VALIDAÇÃO DA PROPOSTA

Portanto, para a análise da Proposta Metodológica em questão, foram selecionadas três ocorrências, no período de desenvolvimento do estudo, formadas basicamente por três diferentes fornecedores.

Cada qual obtém suas principais características, mas todos dentro do mesmo alicerce, amparados por uma avaliação prévia de seleção de fornecedores, e seguindo diversas premissas aconselhadas pela literatura consultada. A estruturação do cálculo TCO, tem como ponto de partida as “Especificações da Célula de Soldagem”, onde são definidas as principais referências do equipamento de soldagem, para a solicitação de orçamento aos fornecedores.

A resposta dos orçamentos pelos fornecedores então, terá por base o *check-up* desta tabela e da avaliação se esta demanda, nas condições apresentadas, poderá ser atendida. Cada fornecedor receberá a mesma tabela e irá retornar o orçamento com todas as informações solicitadas. Recebendo a devolutiva de cada fornecedor via proposta comercial, os dados serão tabulados na sequência do fluxograma abaixo definido (Figura 14), no Quadro 3.

Figura 14 - Fluxograma do Processo



Fonte: Autor, 2023.

É importante salientar que a tabulação dos dados pelos fornecedores seguirá a sequência abaixo:

- 1) Dados de Entrada
 - a. Nome do Fornecedor
 - b. Vida Útil do Equipamento
 - c. Preço Inicial

- 2) Custos de Aquisição
 - a. Logística
 - b. Manutenção
 - c. Diversos

Além do mais, seguindo o Fluxograma apresentado acima, é necessário integralizar os Custos Operacionais, onde estes dados irão variar entre os fornecedores, dependendo do valor do equipamento. A sequência abaixo quanto aos Custos Operacionais, segue a ordem do Fluxograma padrão de preenchimento (Figura 14):

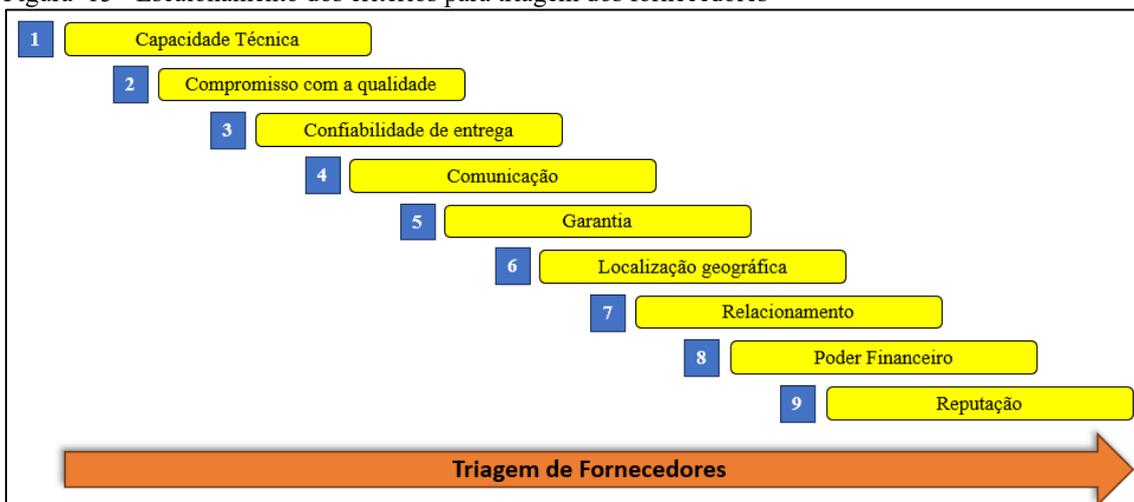
- 3) Custos Operacionais
 - a. Operações
 - b. Vantagens Tecnológicas
 - c. Ciclo de Vida

Este detalhamento ficará mais claro na medida em que o estudo transcorrer e os resultados tornarem-se perceptíveis.

4.1.1 Dados de Entrada dos Fornecedores

A validação da metodologia passa pela análise preliminar dos três fornecedores que foram escolhidos para formar a base principal de dados do Planejamento Experimental, composto por “Fornecedor A”, “Fornecedor B” e “Fornecedor C”. Esta avaliação tem o intuito de clarificar brevemente a escolha entre os fornecedores, onde a gestão poderá pré-selecionar aqueles que melhor lhe convém, dentro um universo comercial da Indústria, onde existem várias opções de fornecimento, mas as que realmente são confiáveis, estão em número reduzido. Seguindo aquilo que a bibliografia recomenda para esta situação, e anteriormente visto no Capítulo 3, abaixo na Figura 15, é possível identificar cada critério de forma escalonada:

Figura 15 - Escalonamento dos critérios para triagem dos fornecedores



Fonte: Autor, 2023.

Dando sequência à Validação da Metodologia, a orientação ao fornecedor é que, o primeiro passo, seja o preenchimento dos “Dados de Entrada”, assim como na sequência os “Custos de Aquisição” também deverão ser informados. Os custos operacionais, estão intrínsecos ao processo da indústria, então deverão ser tabulados pelo próprio interessado no cálculo, dentro do “Formulário Padrão”. Os dados numéricos que serão apresentados neste estudo, se manterão confidenciais quanto a origem, onde a distinção entre eles se dará, de uma forma que já vem acontecendo neste trabalho: Fornecedor A, Fornecedor B e Fornecedor C. Sendo assim, abaixo estão compilados os dados comerciais dos três fornecedores citados anteriormente.

Desde modo, no Quadro 6 estão representadas as propostas comerciais dos três fornecedores, cuja triagem foi realizada utilizando-se como ponto de origem a Figura 15, intitulado “escalonamento dos critérios”. Tendo os três orçamentos em mãos e dispostos comparativamente lado a lado no Quadro anterior, é possível de antemão saber que o “Fornecedor A” apresenta a proposta de menor valor, mas não necessariamente a melhor proposta. Para se antever os custos reais ao longo de todo o ciclo de vida do equipamento, é imprescindível o desfecho do cálculo TCO, consoante com aquilo que a bibliografia recomenda.

Quadro 6 - Proposta Comercial Fornecedores A, B e C

Proposta Comercial Fornecedores					
Seqüência	Categorias	Variáveis	Fornecedor A	Fornecedor B	Fornecedor C
1	Preço Inicial	Custo unitário	R\$ 187.500,00	R\$ 195.000,00	R\$ 198.500,00
		Despesas de capitais iniciais	R\$ 155.000,00	R\$ 160.000,00	R\$ 165.000,00
3	Logística	Frete	R\$ 25.000,00	R\$ 27.000,00	R\$ 22.000,00
		Embalagem	R\$ 8.500,00	R\$ 7.000,00	R\$ 7.500,00
		Disponibilidade	R\$ 29.000,00	R\$ 35.000,00	R\$ 32.000,00
		Prazo de entrega	R\$ 18.000,00	R\$ 15.000,00	R\$ 14.000,00
		Taxas de importação	R\$ 65.000,00	R\$ 70.000,00	R\$ 85.000,00
5	Manutenção	Suprimentos	R\$ 35.000,00	R\$ 33.000,00	R\$ 37.000,00
		Treinamento	R\$ 9.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ 8.000,00
		Tempo de inatividade	R\$ 17.000,00	R\$ 18.000,00	R\$ 16.000,00
		Peças de reposição	R\$ 37.000,00	R\$ 30.000,00	R\$ 35.000,00
		Cronograma de manutenção preventiva	R\$ 11.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 15.000,00
7	Diversos	Custos de descarte	R\$ 7.500,00	R\$ 6.625,00	R\$ 8.350,00
		Custos de suporte	R\$ 14.000,00	R\$ 15.000,00	R\$ 18.000,00
		Instalação	R\$ 31.000,00	R\$ 30.000,00	R\$ 33.000,00
Somatório Geral Fornecedores			R\$ 649.500,00	R\$ 663.625,00	R\$ 694.350,00

Fonte: Autor, 2023.

4.1.2 Dados Internos Operacionais

Cada empresa apresenta determinadas características em seus processos que são assuntos de economia interna, mas que são extremamente relevantes quanto a formalização e determinação de suas métricas. Conhecer seus processos e ter autonomia quando o assunto é mudança, torna cada indústria diferente uma da outra e potencializa a busca por melhores práticas em todos os sentidos, além de manter seus processos de manufatura sempre com excelência operacional.

Dentro do que esta proposta de trabalho está inserida, faz-se necessário amplo domínio dos processos de soldagem pela gestão da empresa ao qual fizer uso da ferramenta, assim como o conhecimento pleno dos Dados Internos Operacionais. Independentemente de serem estes processos convencionais ou já automatizados, os gestores deverão ter este discernimento, para assim tabular os Custos Operacionais. Estes serão definidos por um mix de informações de produção (item ao qual se quer aplicar o novo equipamento de soldagem), tendo por base para os cálculos do valor do equipamento de cada fornecedor e a vida útil deste, dentro daquilo que as “Especificações Técnicas da Célula de Soldagem” requer.

Na sequência, serão apresentados os “Custos Operacionais” para cada Equipamento, seguindo o “Planejamento Experimental”, onde subentende-se que o Equipamento A está relacionado ao Fornecedor A, assim como Equipamento B apresenta resultados de análise do Fornecedor B e Equipamento C dados representativos do Fornecedor C, assim como seu detalhamento dentro da realidade da empresa consultada e motivadora deste estudo.

Dos dados gerados e tabulados para cada equipamento, seguem iguais como já mencionadas as informações internas de processos para a Categoria “Custo de Operações” (Economia de mão de obra) e variam entre os equipamentos as informações relativas às Categorias “Vantagens Tecnológicas” (Adequação para uso pretendido), “Ciclo de Vida” (Vida útil e Obsolescência), na medida em que se alteram os valores de cada proposta comercial. Neste trabalho, tendo por base dados gerados em uma Indústria Metalúrgica de Implementos Agrícolas, situada no Rio Grande do Sul, os Custos de Operações foram calculados com auxílio de dados internos e podem ser vistos na sequência:

Custo de Operações:

Eficiência da Máquina: Esta variável foi calculada para cada modelo de máquina (Fornecedor A, Fornecedor B e Fornecedor C), diferenciando-se entre fabricantes e seguindo as “*Especificações Técnicas*” definidas pela empresa parceira. Os resultados seguiram o padrão de cálculo OEE (*Overall Equipment Effective*), onde Disponibilidade (D), Performance (P) e Qualidade (Q) são multiplicados e definem resultados percentuais que indicam a real eficiência do equipamento dentro da condição de trabalho ao qual este será submetido. Além do mais, um comparativo entre soldagem manual e robotizada é realizado, considerando para isso a Produtividade de cada equipamento robotizado em comparação a soldagem manual, tendo como resultado o ganho de produção (volume de peças) e a Eficiência Produtiva de cada equipamento.

Considerou-se para o cálculo em um primeiro momento, a verificação da Eficiência da Solda Manual praticada na empresa parceira, onde o Quadro 7, (Item x Dados) demonstra a base de dados coletados para este fim:

Quadro 7 - Base de Dados Soldagem Manual

Item	Dados
Horas por Turno	8 Horas (480 min)
Intervado para Descanso	2x15 minutos e 1x30 min = 60 min
Paradas que interferem processo Produtivo	47 min
Material Produzido	300
Material Rejeitado	10
Paradas que interferem no tempo de ciclo	73
Tempo Programado	290

Fonte: Autor, 2023.

*Paradas que interferem no processo produtivo: Inspeção visual, retrabalhos, troca de arame.

**Paradas que interferem no tempo de ciclo: Preenchimento de cordão, interferência na montagem do gabarito, tempo de movimentação da peça no gabarito, velocidade de soldagem.

Tendo a Base de Dados montada, os cálculos de Disponibilidade, Performance e Qualidade para a Soldagem Manual, foram realizados e podem ser vistos no Quadro 8. Por fim, a Eficiência para Soldagem Manual pode ser visualizada no Quadro 9.

Quadro 8 - Disponibilidade, Performance e Qualidade da Soldagem Manual

Disponibilidade	88,81%	
	Tempo Rodando a Máquina	Tempo de Produção Planejado
	373	420
Performance	77,75%	
	Tempo Programado	Tempo Operacional
	290	373
Qualidade	96,67%	
	Material Aceitável	Material Produzido
	290	300

Fonte: Autor, 2023.

Quadro 9 - Eficiência Soldagem Manual

OEE	Disponibilidade	Performance	Qualidade
OEE	88,81%	77,75%	96,67%
OEE	66,75%		

Fonte, Autor 2023.

Seguindo a mesma linha de ação para o cálculo de Eficiência da Soldagem Manual, abaixo serão calculadas a Eficiência da Soldagem Robotizada para cada fornecedor.

A produtividade em comparação a Soldagem Robotizada e a Eficiência Produtiva, também serão calculadas, onde uma “Base de Dados” individual, será montada seguindo as informações repassadas pelos fornecedores dos equipamentos A, B e C.

Por ser um processo automatizado de soldagem, as paradas que interferem no processo produtivo são reduzidas, e como resultado um menor tempo de processo é atribuído (20 minutos). Da mesma forma, as paradas que interferem no ciclo são menores neste equipamento, pois segundo o fabricante a velocidade de soldagem é um ponto positivo, e representa uma redução de 33 minutos quando comparado ao processo manual. Abaixo, no Quadro 10, os dados obtidos junto ao fornecedor são demonstrados e podem ser considerados para o cálculo de Eficiência. O Quadro 10, mostra a “Base de Dados” do Fornecedor A, e pode ser vista abaixo:

Quadro 10 - Base de Dados Fornecedor A

Item	Dados
Horas por Turno	8 Horas (480 min)
Intervado para Descanso	2x15 minutos e 1x30 min = 60 min
Paradas que interferem processo Produtivo	20
Material Produzido	300
Material Rejeitado	10
Paradas que interferem no tempo de ciclo	40
Tempo Programado	210

Fonte: Autor, 2023.

Sendo assim, o Quadro 11, demonstra os resultados para “Disponibilidade”, “Performance” e “Qualidade”, para o Fornecedor A:

Quadro 11 - Disponibilidade, Performance e Qualidade da Soldagem Robotizada EA

Disponibilidade	95,24%	
	Tempo Rodando a Máquina	Tempo de Produção Planejado
	400	420
Performance	84,00%	
	Tempo Programado	Tempo Operacional
	210	250
Qualidade	100,00%	
	Material Aceitável	Material Produzido
	300	300

Fonte: Autor, 2023.

Por fim, o Quadro 12 pode ser visualizado o resultado da Eficiência do Equipamento A, onde é notório um incremento percentual em relação à Eficiência:

Quadro 12 - Eficiência Soldagem Robotizada Equipamento A

OEE	Disponibilidade	Performance	Qualidade
OEE	95,24%	84,00%	100,00%
OEE	80,00%		

Fonte: Autor, 2023.

Para o Equipamento do Fornecedor B, os mesmos cálculos serão realizados, com a condição que este Fornecedor apresentou resultados melhores para “Paradas de Processos Produtivos” e “Paradas que interferem no Tempo de Ciclo”. O Quadro 13, mostra a Base de Dados deste fornecedor:

Quadro 13 - Base de Dados Fornecedor B

Item	Dados
Horas por Turno	8 Horas (480 min)
Intervado para Descanso	2x15 minutos e 1x30 min = 60 min
Paradas que interferem processo Produtivo	16
Material Produzido	300
Material Rejeitado	10
Paradas que interferem no tempo de ciclo	35
Tempo Programado	215

Fonte: Autor, 2023.

Tendo registrado 16 minutos para as “Paradas que Interferem no Processo Produtivo”, com um mecanismo que possibilita uma rápida troca de arame, o Fornecedor B teve um ganho considerável em produtividade. Da mesma forma, com menor tempo para “Paradas que Interferem no Tempo de Ciclo” (35 minutos), os resultados tornaram-se expressivos, e podem ser observados no Quadro 14 e Quadro 15:

Quadro 14 - Disponibilidade, Performance e Qualidade da Soldagem Robotizada EB

Disponibilidade	96,19%	
	Tempo Rodando a Máquina	Tempo de Produção Planejado
	404	420
Performance	87,76%	
	Tempo Programado	Tempo Operacional
	215	245
Qualidade	100,00%	
	Material Aceitável	Material Produzido
	300	300

Fonte: Autor, 2023.

O Quadro 15, mostra a Eficiência do Equipamento B, pós resultados de Disponibilidade, Performance e Qualidade, com um resultado de 82,45%.

Quadro 15 - Eficiência Soldagem Robotizada Equipamento B

OEE	Disponibilidade	Performance	Qualidade
OEE	96,19%	87,76%	100,00%
OEE	84,41%		

Fonte: Autor, 2023.

Dentro da mesma sequência lógica de cálculos anteriormente apresentados, foram buscados resultados de Eficiência para o Equipamento C. Abaixo o Quadro 16 mostra os dados utilizados nos cálculos.

Quadro 16 - Base de Dados Fornecedor C

Item	Dados
Horas por Turno	8 Horas (480 min)
Intervado para Descanso	2x15 minutos e 1x30 min = 60 min
Paradas que interferem processo Produtivo	17
Material Produzido	300
Material Rejeitado	10
Paradas que interferem no tempo de ciclo	37
Tempo Programado	220

Fonte: Autor, 2023.

Se comparado com os Equipamentos A e B, este teve uma redução no tempo de “Paradas que Interferem no Processo Produtivo” em relação ao Equipamento A, mas teve um tempo maior neste mesmo aspecto para o Equipamento B.

Da mesma forma, para as “Paradas que Interferem no Tempo de Ciclo”, o Equipamento C apresentou melhores resultados em comparação com o Equipamento A, mas tempos maiores comparativamente ao Fornecedor B.

Quadro 17 - Disponibilidade, Performance e Qualidade da Soldagem Robotizada EC

Disponibilidade	95,95%	
	Tempo Rodando a Máquina	Tempo de Produção Planejado
	403	420
Performance	89,07%	
	Tempo Programado	Tempo Operacional
	220	247
Qualidade	100,00%	
	Material Aceitável	Material Produzido
	300	300

Fonte: Autor, 2023.

Referente à Eficiência, o Quadro 18 demonstra o resultado para o Equipamento C.

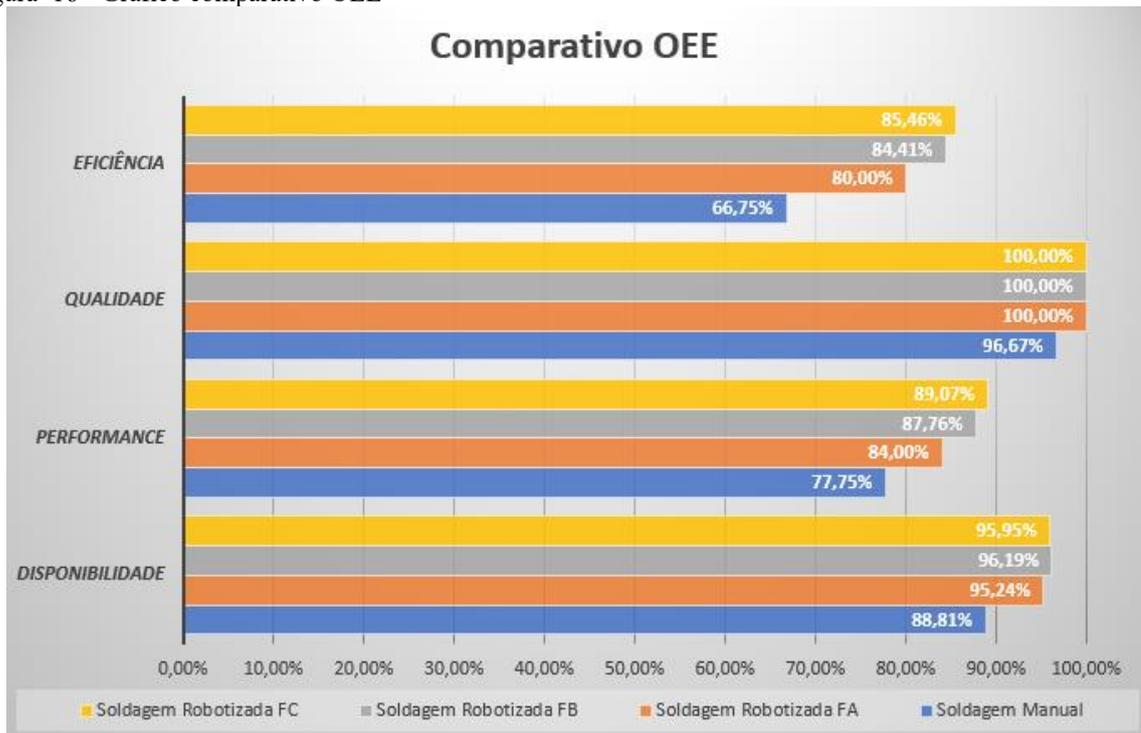
Quadro 18 - Eficiência Soldagem Robotizada Equipamento C

OEE	Disponibilidade	Performance	Qualidade
OEE	95,95%	89,07%	100,00%
OEE	85,46%		

Fonte: Autor, 2023.

Comparativamente, os Equipamentos A, B e C apresentam resultados similares quanto a Eficiência. No entanto, se estes forem equiparados ao Processo de Soldagem Manual, apresentam relativa vantagem, pois fica evidente que tem-se uma maior agilidade de processo em um equipamento automatizado do que num equipamento convencional de solda. Abaixo, na Figura 16, está representado o comparativo entre o Equipamento de Soldagem Manual e os Equipamentos de Soldagem Robotizados (FA, FB e FC) e seus resultados para Eficiência, Qualidade, Performance e Disponibilidade:

Figura 16 - Gráfico comparativo OEE



Fonte: Autor, 2023.

Por este gráfico é possível verificar que a Eficiência do Equipamento FA (Fornecedor A), com resultado de 85,46% apresenta vantagens em termos de Qualidade, Performance e Disponibilidade. Se considerarmos dados de produção, afim de clarear a comparação entre equipamentos, pode-se chegar a um Cálculo Financeiro Baseado em OEE para cada equipamento. Este cálculo leva em consideração a Produtividade de cada Equipamento Robotizado, em comparação ao Equipamento Manual de Soldagem, e pode ser visualizada nos Quadros 19, 20 e 21. Com os percentuais das produtividades, decorrente do cálculo entre peças hora da Solda Robotizada e Solda Manual, é possível calcular o Volume de Produção e a Eficiência Produtiva da Soldagem Robotizada para cada um dos três equipamentos.

Quadro 19 - Produtividade e Cálculo Financeiro Baseado em OEE FA

Solda Manual x Robotizada FA		Produtividade	
OEE NA MANUAL	66,75%	34,26%	
OEE NO ROBÔ	82,29%		
PEÇAS HORA NA MANUAL	1,448		
PEÇAS HORA NO ROBÔ	1,944		
1	Peça	R\$	350,00
300	Peças	R\$	105.000,00
Eficiência Produtiva Soldagem Manual	Peças	300	
Eficiência Produtiva Soldagem Robotizada	Peças	403	
Cálculo Financeiro Baseado no OEE FA			
Eficiência Produtiva Soldagem Manual	Volume de Produção Diário	Resultado Financeiro	
	300	R\$	105.000,00
Eficiência Produtiva Soldagem Robotizada FA	Volume de Produção Diário	Resultado Financeiro	
	403	R\$	140.972,22
Resultado Mesal			Resultado Financeiro
			R\$ 35.972,22

Fonte: Autor, 2023.

Quadro 20 - Produtividade e Cálculo Financeiro Baseado em OEE FB

Solda Manual x Robotizada FB		Produtividade	
OEE NA MANUAL	66,75%	34,88%	
OEE NO ROBÔ	84,41%		
PEÇAS HORA NA MANUAL	1,448		
PEÇAS HORA NO ROBÔ	1,953		
1	Peça	R\$	350,00
300	Peças	R\$	105.000,00
Eficiência Produtiva Soldagem Manual	Peças	300	
Eficiência Produtiva Soldagem Robotizada	Peças	405	
Cálculo Financeiro Baseado no OEE FB			
Eficiência Produtiva Soldagem Manual	Volume de Produção Diário	Resultado Financeiro	
	300	R\$	105.000,00
Eficiência Produtiva Soldagem Robotizada FB	Volume de Produção Diário	Resultado Financeiro	
	405	R\$	141.627,91
Resultado Mesal			Resultado Financeiro
			R\$ 36.627,91

Fonte: Autor, 2023.

Quadro 21 - Produtividade e Cálculo Financeiro Baseado em OEE FC

Solda Manual x Robotizada FC		Produtividade	
OEE NA MANUAL	66,75%	37,44%	
OEE NO ROBÔ	81,97%		
PEÇAS HORA NA MANUAL	1,448		
PEÇAS HORA NO ROBÔ	1,991		
1	Peça		
300	Peças	R\$	105.000,00
Eficiência Produtiva Soldagem Manual	Peças	300	
Eficiência Produtiva Soldagem Robotizada	Peças	412	
Cálculo Financeiro Baseado no OEE FC			
Eficiência Produtiva Soldagem Manual	Volume de Produção Diário	Resultado Financeiro	
	300	R\$	105.000,00
Eficiência Produtiva Soldagem Robotizada FC	Volume de Produção Diário	Resultado Financeiro	
	412	R\$	144.312,80
Resultado Mesal			Resultado Financeiro
			R\$ 39.312,80

Fonte: Autor, 2023.

Vantagens Tecnológicas:

Adequação para Uso Pretendido: Na mesma situação anterior, a Variável “Adequação para Uso Pretendido”, será considerada a mesma para as três situações de equipamentos, uma vez que a empresa parceira estima um valor de R\$ 25.000,00 reais anuais. Este investimento engloba alteração de *layout*, assim como melhorias na rede de energia elétrica, água e ar comprimido. Não obstante, o investimento contemplará melhores ações sustentáveis ambientais.

Ciclo de Vida:

Vida Útil Equipamento A: O cálculo da vida útil, foi determinado subtraindo-se o Valor da Célula de Soldagem do Fornecedor A, pela Taxa sobre o Equipamento, e dividindo-se o resultado pela Vida Útil (10 anos) deste.

Quadro 22 - Vida Útil Equipamento A

Vida Útil		
Depreciação/Horas	Valor da Célula de Soldagem	Taxa Anual de Depreciação (%)
	R\$ 649.500,00	10
Resultado	R\$	64.950,00

Fonte: Autor, 2023.

Vida Útil Equipamento B: O cálculo da vida útil, foi determinado subtraindo-se o Valor da Célula de Soldagem do Fornecedor B, pela Taxa sobre o Equipamento, e dividindo-se o resultado pela Vida Útil (10 anos) deste.

Quadro 23 - Vida Útil Equipamento B

Vida Útil		
Depreciação/Horas	Valor da Célula de Soldagem	Taxa Anual de Depreciação (%)
		R\$ 663.625,00
Resultado	R\$ 66.362,50	

Fonte: Autor, 2023.

Vida Útil Equipamento C: O cálculo da vida útil, foi determinado subtraindo-se o Valor da Célula de Soldagem do Fornecedor C, pela Taxa sobre o Equipamento, e dividindo-se o resultado pela Vida Útil (10 anos) deste.

Quadro 24 - Vida Útil Equipamento C

Vida Útil		
Depreciação/Horas	Valor da Célula de Soldagem	Taxa Anual de Depreciação (%)
		R\$ 694.350,00
Resultado	R\$ 69.435,00	

Fonte: Autor, 2023.

Obsolescência Equipamento A: A Obsolescência foi calculada, dividindo-se a Taxa Anual de Depreciação por 100, e multiplicando-se o resultado pelo Valor da Célula de Soldagem do Fornecedor A.

Quadro 25 - Obsolescência Equipamento A

Obsolescência		
Depreciação/Horas	Valor da Célula de Soldagem	Taxa Sobre Equipamento
		R\$ 649.500,00
Resultado	R\$ 58.455,00	

Fonte: Autor, 2023.

Obsolescência Equipamento B: A Obsolescência foi calculada, dividindo-se a Taxa Anual de Depreciação por 100, e multiplicando-se o resultado pelo Valor da Célula de Soldagem do Fornecedor B.

Quadro 26 - Obsolescência Equipamento B

Obsolescência		
Depreciação/Horas	Valor da Célula de Soldagem	Taxa Sobre Equipamento
	R\$ 663.625,00	R\$ 66.362,50
Resultado	R\$	59.726,25

Fonte: Autor, 2023.

Obsolescência Equipamento C: A Obsolescência foi calculada, dividindo-se a Taxa Anual de Depreciação por 100, e multiplicando-se o resultado pelo Valor da Célula de Soldagem do Fornecedor C, e pode ser visto abaixo no Quadro 27:

Quadro 27 - Obsolescência Equipamento C

Obsolescência		
Depreciação/Horas	Valor da Célula de Soldagem	Taxa Sobre Equipamento
	R\$ 694.350,00	R\$ 69.435,00
Resultado	R\$	62.491,50

Fonte: Autor, 2023.

Resumo dos Custos Operacionais do Equipamento A, Equipamento B e Equipamento C:

Os Custos Operacionais dos três equipamentos, representam basicamente os resultados obtidos com os três principais fatores:

- Custo de Operações (Eficiência da máquina)
- Vantagens Tecnológicas (Adequação para uso pretendido)
- Ciclo de Vida (Vida Útil e Obsolescência)

Em seguida, serão tabulados os resultados destes três fatores para cada um dos três equipamentos (Equipamento A, Equipamento B e Equipamento C).

Quadro 28 - Custos Operacionais do Equipamento A

Custos Operacionais Equipamento A			
Seqüência	Categorias	Variáveis	Valor (R\$)
2	Custo de Operações	Eficiência da máquina	R\$ 40.000,00
4	Vantagens Tecnológicas	Adequação para uso pretendido	R\$ 25.000,00
6	Ciclo de Vida	Vida útil	R\$ 64.950,00
		Obsolescência	R\$ 58.455,00
Somatório Geral			R\$ 188.405,00

Fonte: Autor, 2023.

Quadro 29 - Custos Operacionais do Equipamento B

Custos Operacionais Equipamento B			
Seqüência	Categorias	Variáveis	Valor (R\$)
2	Custo de Operações	Eficiência da máquina	R\$ 36.627,91
4	Vantagens Tecnológicas	Adequação para uso pretendido	R\$ 25.000,00
6	Ciclo de Vida	Vida útil	R\$ 66.362,50
		Obsolescência	R\$ 59.726,25
Somatório Geral			R\$ 187.716,66

Fonte: Autor, 2023.

Quadro 30 - Custos Operacionais do Equipamento C

Custos Operacionais Equipamento C			
Seqüência	Categorias	Variáveis	Valor (R\$)
2	Custo de Operações	Eficiência da máquina	R\$ 33.409,09
4	Vantagens Tecnológicas	Adequação para uso pretendido	R\$ 25.000,00
6	Ciclo de Vida	Vida útil	R\$ 68.585,00
		Obsolescência	R\$ 61.726,50
Somatório Geral			R\$ 188.720,59

Fonte: Autor, 2023.

Na seqüência do trabalho, os resultados do Quadro 28 (Custos Operacionais do Equipamento A), Quadro 29 (Custos Operacionais do Equipamento B) e Quadro 30 (Custos Operacionais do Equipamento C), serão individualmente inseridos no Formulário Padrão.

4.1.3 Valor de Revenda por Equipamento

Um ponto importante de análise é a “Renda” ao final do Formulário Padrão, onde são expostos dados de “Valor de Revenda do Equipamento” e “Valor de Revenda de Peças”. Estes dados serão tabulados e resultam de dois cálculos. O primeiro, “Valor de Revenda do Equipamento”, foi obtido através do “Custo do Produto”, assim como a “Margem de Lucro” e “Impostos e Taxas”. O Segundo parâmetro, “Valor de Revenda de Peças”, foi obtido através de análise preliminar de depreciação de cada equipamento. Abaixo, serão apresentados o “Valor de Revenda” para cada equipamento (Quadro 31, Quadro 32 e Quadro 33).

Quadro 31 - Valor de Revenda Equipamento A

		RENDA		R\$ Rendas Subtotais (Ano)
A	Receita de Capital (único e não por ano)	Valor de venda do equipamento		R\$ 681.975,00
		Valor de venda/resgate de peças		R\$ 250.000,00
		Subtotal		R\$ 931.975,00
	Custo do Produto	R\$ 649.500,00		
	Margem de Lucro	2%		
	Impostos e Taxas	3%		
	Preço de Revenda	R\$ 681.975,00		

Fonte: Autor, 2023.

Quadro 32 - Valor de Revenda Equipamento B

		RENDA		R\$ Rendas Subtotais (Ano)
B	Receita de Capital (único e não por ano)	Valor de venda do equipamento		R\$ 696.806,25
		Valor de venda/resgate de peças		R\$ 300.000,00
		Subtotal		R\$ 996.806,25
	Custo do Produto	R\$ 663.625,00		
	Margem de Lucro	2%		
	Impostos e Taxas	3%		
	Preço de Revenda	R\$ 696.806,25		

Fonte: Autor, 2023.

Quadro 33 - Valor de Revenda Equipamento C

		RENDA		R\$ Rendas Subtotais (Ano)
C	Receita de Capital (único e não por ano)	Valor de venda do equipamento		R\$ 729.067,50
		Valor de venda/resgate de peças		R\$ 275.000,00
		Subtotal		R\$ 1.004.067,50
	Custo do Produto	R\$ 694.350,00		
	Margem de Lucro	2%		
	Impostos e Taxas	3%		
	Preço de Revenda	R\$ 729.067,50		

Fonte: Autor, 2023.

Os valores de venda serão inseridos no Formulário Padrão, para cada equipamento (Equipamento A, Equipamento B e Equipamento C), assim como os Dados de Entrada e os Dados Internos Operacionais.

4.2 TABULAÇÃO FORMULÁRIO PADRÃO

De posse das propostas comerciais dos três fornecedores, visualizado anteriormente, a próxima tarefa será preencher o Formulário Padrão. Para cada fornecedor uma única tabela será gerada, individualizando a análise preliminar de cada proposta comercial e esclarecendo as “Categorias” e “Variáveis” de cada um. Assim, de antemão poderá se ter uma visão geral de como se comportarão os resultados do TCO, mas nenhum resultado neste momento é definitivo.

Além dos Dados de Entrada dos Fornecedores, serão inseridos na “Tabela Padrão” também os Dados Internos Operacionais e a Receita de Capital por Equipamento. Portanto, imediatamente serão apresentados os Formulários de cada fornecedor, seguindo a sequência preestabelecida: Fornecedor A, Fornecedor B e Fornecedor C.

Em todas as Tabelas Padrão abaixo, podem ser visualizadas as Categorias e Variáveis, dispostas em uma sequência ordenada, facilitando a interpretação e visualização, proporcionando ao gestor responsável pela compra do equipamento, clareza e agilidade na escolha da melhor alternativa. A divisão entre Categorias, possibilita uma visão completa da Matriz TCO, onde cada detalhe faz grande diferença dentro de uma Gestão Estratégica de Custos eficiente e translúcida. Além do mais, para cada Variável apresentada no Formulário Padrão, um “Custo Unitário” pode ser atribuído, sendo este ainda multiplicado pela coluna “Quantidade”, dando maior refino ao cálculo, logo um resultado mais transparente.

O Quadro 34, que corresponde ao TCO Fornecedor A, será o primeiro formulário analisado e carrega consigo todas as informações necessárias para o cálculo TCO deste, seguindo o “Fluxograma do Processo”, anteriormente comentado e já com uma pré-análise podendo ser realizada. Neste quadro foram carregados os dados da “Proposta Comercial do Fornecedor A”, onde as Categorias “Preço Inicial”, “Logística”, “Manutenção” e “Diversos” dispõe de Variáveis de grande influência para o Cálculo. As Variáveis tornam o cálculo refinado ao ponto de esclarecer ao interessado, quais aspectos tem um peso maior na valoração do equipamento como um todo, podendo este de antemão clarificar o entendimento da estrutura de cálculo.

Soma-se a isso, a incorporação na “Tabela Padrão” dos dados referente a “Custo de Operacionais” e “Valor de Revenda”. Sendo assim, abaixo está o Quadro 34, com a tabulação de todos os dados concluída:

Quadro 34 - TCO Fornecedor A

TCO - Total Cost of Ownership				
Nome do produto/serviço:	Célula de Soldagem FORNECEDOR A			
Vida útil esperada do item (anos)	10			
Gestão Estratégica de Custos				
Categoria 1	Variáveis			R\$ Custos Subtotais (Ano)
Preço Inicial	Custo unitário			R\$ 187.500,00
	Despesas de capitais iniciais			R\$ 155.000,00
Subtotal				R\$ 342.500,00
Categoria 2	Variáveis	Incremento (Dia)	Quantidade	R\$ Receita (Ano)
Operações	Eficiência da máquina	R\$ 35.972,22	12	R\$ 431.666,67
Subtotal				R\$ 431.666,67
Categoria 3	Variáveis	Custo Unitário (Mês)	Quantidade	R\$ Custos Subtotais (Ano)
Logística	Frete	R\$ 25.000,00	1	R\$ 25.000,00
	Embalagem	R\$ 8.500,00	1	R\$ 8.500,00
	Disponibilidade	R\$ 29.000,00	1	R\$ 29.000,00
	Prazo de entrega	R\$ 18.000,00	1	R\$ 18.000,00
	Taxas de importação	R\$ 65.000,00	1	R\$ 65.000,00
Subtotal				R\$ 145.500,00
Categoria 4	Variáveis	Custo Unitário (Mês)	Quantidade	R\$ Custos Subtotais (Ano)
Vantagens Tecnológicas	Adequação para uso pretendido	R\$ 25.000,00	1	R\$ 25.000,00
Subtotal				R\$ 25.000,00
Categoria 5	Variáveis	Custo Unitário (Mês)	Quantidade	R\$ Custos Subtotais (Ano)
Manutenção	Suprimentos	R\$ 35.000,00	1	R\$ 35.000,00
	Treinamento	R\$ 9.000,00	1	R\$ 9.000,00
	Tempo de inatividade	R\$ 17.000,00	1	R\$ 17.000,00
	Peças de reposição	R\$ 37.000,00	1	R\$ 37.000,00
	Cronograma de manutenção preventiva	R\$ 11.000,00	3	R\$ 33.000,00
Subtotal				R\$ 131.000,00
Categoria 6	Variáveis	Custo Unitário (Mês)	Quantidade	R\$ Custos Subtotais (Ano)
Ciclo de Vida	Vida útil	R\$ 64.950,00	1	R\$ 64.950,00
	Obsolescência	-R\$ 58.445,00	1	-R\$ 58.445,00
Subtotal				R\$ 6.505,00
Categoria 7	Variáveis			R\$ Custos Subtotais (Ano)
Diversos	Custos de descarte			R\$ 7.500,00
	Custos de suporte			R\$ 14.000,00
	Instalação			R\$ 31.000,00
Subtotal				R\$ 52.500,00
RENDA				R\$ Rendas Subtotais (Ano)
Receita de Capital (único e não por ano)	Valor de revenda do equipamento			R\$ 681.975,00
	Valor de revenda/resgate de peças			R\$ 250.000,00
Subtotal				R\$ 931.975,00

Fonte: Autor, 2023.

Dados preliminares para cada Categoria e Variável, podem ser vistos na coluna última coluna da Tabela Padrão.

Uma resposta individualizada no que se refere a valores pode ser obtida. A análise fica comparativamente entre as 7 categorias e o valor subtotal de cada uma. As quantidades dentro das Variáveis, alteram os valores subtotais. O valor de “Receita de Capital”, será o balizador do resultado do Cálculo TCO para cada fornecedor, uma vez que a diferença entre este e os demais custos reporta o valor final do Cálculo. Além do Formulário padrão do Fornecedor A, compõe ainda o cálculo TCO para este fornecedor, o “Resumo do Cálculo” TCO, que pode ser visto no Quadro 35.

Quadro 35 - Resumo Cálculo TCO Fornecedor A

Resumo	
Custos Totais por Ano	Custos Totais Durante Todo Ciclo de Vida
Categoria 1: Preço Inicial	
R\$ 342.500,00	único, portanto, não aplicável
Categoria 2: Custo de Operações	
R\$ 431.666,67	R\$ 4.316.666,67
Categoria 3: Logística	
R\$ 145.500,00	R\$ 145.500,00
Categoria 4: Vantagens Tecnológicas	
R\$ 25.000,00	R\$ 250.000,00
Categoria 5: Manutenção	
R\$ 131.000,00	R\$ 1.310.000,00
Categoria 6: Ciclo de Vida	
R\$ 6.505,00	R\$ 65.050,00
Categoria 7: Diversos	
R\$ 52.500,00	R\$ 52.500,00
Renda - Receita de Capital	
R\$ 931.975,00	R\$ 931.975,00

Fonte: Autor, 2023.

Neste “Resumo” estão individualizados os somatórios das 7 Categorias e o somatório da Receita de Capital, além de apresentar os “Custos Totais por Ano” e os “Custos Totais

Durante Todo Ciclo de Vida” do equipamento. Apenas as “Categorias” 2, 4, 5 e 6 apresentavam valores que contemplam todo o Ciclo de Vida do equipamento. “Custo de Operações”, “Vantagens Tecnológicas”, “Manutenção” e “Ciclo de Vida”, respectivamente. Estes dados do “Resumo” (Quadro 35) são oriundos da Quadro 34, e serão direcionados eletronicamente para Quadro 36, “Resumo da Despesas/Receitas”.

No Quadro 36 é possível identificar individualmente vários aspectos extremamente importantes para o Cálculo TCO, uma vez que cada “Categoria” pode ser compilada e forma agora um novo indicador. Estes indicadores são basicamente os “Custos Iniciais Totais”, “Despesas Totais por Ano”, “Despesas Totais Durante Toda a Vida” e “Renda Total”. Os “Custos Iniciais Totais” representa a Categoria “Preço Inicial”. Já as “Despesas Totais por Ano”, são a soma da “Logística”, “Vantagens Tecnológicas”, “Manutenção”, “Ciclo de Vida” e “Diversos”, subtraindo-se o valor da categoria “Custo de Operações”, por se tratar de um Incremento no faturamento da empresa (volume de produção) e não uma despesa.

Quadro 36 - Resumo das Despesas/Receitas Fornecedor A

Resumo das despesas / receitas	Reais (R\$)		TCO (%)
Custos iniciais totais	R\$	342.500,00	280,41%
Despesas totais por ano	R\$	71.161,67	58,26%
Despesas totais durante toda a vida	R\$	711.616,67	582,62%
Renda total	R\$	931.975,00	763,03%
CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE	R\$	122.141,67	100%

Fonte: Autor, 2023.

O indicador “Despesas Totais Durante Toda a Vida”, nada mais é que a multiplicação das “Despesas Totais por Ano” pelo “Ciclo de Vida (10 anos). O último dado relevante para o cálculo, “Renda Total” representa a “Receita de Capital” dente equipamento, nas condições de orçamento apresentadas pelo Fornecedor A. Por fim, o “Custo Total de Propriedade” para o Fornecedor A, foi obtido pela soma entre os “Custos Iniciais Totais” e as “Despesas Totais Durante Toda a Vida” e a diferença do resultado com a “Renda Total”.

Dando sequência a proposta metodológica em questão, assim como foi feito para o Fornecedor A, abaixo serão tabulados os dados do orçamento do Fornecedor B, seguindo os mesmos passos anteriormente esclarecidos neste trabalho, mas agora buscando resultados diferentes. Seguem para este cálculo todas as 7 categorias utilizadas anteriormente, para o Fornecedor A. Assim como os resultados anteriores para o Fornecedor A, o Quadro 37 esclarece detalhadamente cada “Categoria” e “Variável”.

Quadro 37 - TCO Fornecedor B

TCO - Total Cost of Ownership				
Nome do produto/serviço:	Célula de Soldagem FORNECEDOR B			
Vida útil esperada do item (anos)	10			
Gestão Estratégica de Custos				
Categoria 1	Variáveis			R\$ Custos Subtotais (Ano)
Preço Inicial	Custo unitário			R\$ 195.000,00
	Despesas de capitais iniciais			R\$ 160.000,00
Subtotal				R\$ 355.000,00
Categoria 2	Variáveis	Incremento (Dia)	Quantidade	R\$ Receita (Ano)
Custo de Operações	Eficiência da máquina	R\$ 36.627,91	12	R\$ 439.534,88
Subtotal				R\$ 439.534,88
Categoria 3	Variáveis	Custo Unitário (Mês)	Quantidade	R\$ Custos Subtotais (Ano)
Logística	Frete	R\$ 27.000,00	1	R\$ 27.000,00
	Embalagem	R\$ 7.000,00	1	R\$ 7.000,00
	Disponibilidade	R\$ 35.000,00	1	R\$ 35.000,00
	Prazo de entrega	R\$ 15.000,00	1	R\$ 15.000,00
	Taxas de importação	R\$ 70.000,00	1	R\$ 70.000,00
Subtotal				R\$ 154.000,00
Categoria 4	Variáveis	Custo Unitário (Mês)	Quantidade	R\$ Custos Subtotais (Ano)
Vantagens Tecnológicas	Adequação para uso pretendido	R\$ 25.000,00	1	R\$ 25.000,00
Subtotal				R\$ 25.000,00
Categoria 5	Variáveis	Custo Unitário (Mês)	Quantidade	R\$ Custos Subtotais (Ano)
Manutenção	Suprimentos	R\$ 33.000,00	1	R\$ 33.000,00
	Treinamento	R\$ 10.000,00	1	R\$ 10.000,00
	Tempo de inatividade	R\$ 18.000,00	1	R\$ 18.000,00
	Peças de reposição	R\$ 30.000,00	1	R\$ 30.000,00
	Cronograma de manutenção preventiva	R\$ 12.000,00	3	R\$ 36.000,00
Subtotal				R\$ 127.000,00
Categoria 6	Variáveis	Custo Unitário (Mês)	Quantidade	R\$ Custos Subtotais (Ano)
Ciclo de Vida	Vida útil	R\$ 66.362,50	1	R\$ 66.362,50
	Obsolescência	-R\$ 59.726,25	1	-R\$ 59.726,25
Subtotal				R\$ 6.636,25
Categoria 7	Variáveis			R\$ Custos Subtotais (Ano)
Diversos	Custos de descarte			R\$ 6.625,00
	Custos de suporte			R\$ 15.000,00
	Instalação			R\$ 30.000,00
Subtotal				R\$ 51.625,00
RENDA				R\$ Rendas Subtotais (Ano)
Receita de Capital (único e não por ano)	Valor de venda do equipamento			R\$ 696.806,25
	Valor de venda/resgate de peças			R\$ 300.000,00
Subtotal				R\$ 996.806,25

Fonte: Autor, 2023.

O Quadro 38, “Resumo de Cálculo TCO Fornecedor B, apresenta as mesmas características da anteriormente utilizada no cálculo para o Fornecedor A, no entanto agora com dados diferentes em virtude do orçamento do Fornecedor B também ser diferente, pode realizar uma comparação entre o Fornecedor A e Fornecedor B, mas ainda sem uma definição total de resultado quanto a validação da metodologia proposta.

Quadro 38 - Resumo Cálculo TCO Fornecedor B

Resumo		
Custos Totais por Ano		Custos Totais Durante Todo Ciclo de Vida
Categoria 1: Preço Inicial		
R\$	355.000,00	único, portanto, não aplicável
Categoria 2: Custo de Operações		
R\$	439.534,88	R\$ 4.395.348,84
Categoria 3: Logística		
R\$	154.000,00	R\$ 154.000,00
Categoria 4: Vantagens Tecnológicas		
R\$	25.000,00	R\$ 250.000,00
Categoria 5: Manutenção		
R\$	127.000,00	R\$ 1.270.000,00
Categoria 6: Ciclo de Vida		
R\$	6.636,25	R\$ 66.362,50
Categoria 7: Diversos		
R\$	51.625,00	R\$ 516.250,00
Renda - Receita de Capital		
R\$	996.806,25	R\$ 996.806,25

Fonte: Autor, 2023.

Seguindo neste caminho, o Quadro 39, “Resumo das Despesas/Receitas Fornecedor B, finaliza o cálculo TCO para o Fornecedor B, dando uma visão apurada da tendência entre os resultados de TCO para Fornecedor A e Fornecedor B, mas nada ainda definitivo, devido ainda serem necessários à compilação dos dados do Fornecedor C.

Quadro 39 - Resumo das Despesas/Receitas Fornecedor B

Resumo das despesas / receitas	Reais (R\$)		TCO (%)
Custos iniciais totais	R\$	355.000,00	320,02%
Despesas totais por ano	R\$	75.273,63	67,86%
Despesas totais durante toda a vida	R\$	752.736,34	678,57%
Renda total	R\$	996.806,25	898,59%
CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE	R\$	110.930,09	100%

Fonte: Autor, 2023.

Na sequência, serão apresentados os dados da compilação do Fornecedor C, finalizando então esta amostragem de “Categorias e Variáveis”, assim como permitindo uma comparação real entre as três opções de fornecimento e definindo a Metodologia como válida ou insuficiente, para este modelo de negócio direcionado a Indústrias de Pequeno Porte de Manufatura, e focado em Processos de Soldagem Robotizados. O Cálculo TCO do Fornecedor A e B, visto anteriormente, denotam esclarecimento para a temática da Solda Robotizada, no que diz respeito a levantar todas as informações relevantes dentro da Gestão Estratégica de Custos, quanto a um orçamento esclarecedor e gerador de resultados gerenciais.

Também nesse sentido, na sequência serão apresentados dados para o Cálculo TCO do Fornecedor C. Dentro daquilo que a Indústria considera como relevante na formatação de uma avaliação comercial para compra de equipamentos, já existe uma tendência de escolha entre o Fornecedor A e o Fornecedor B, no entanto ainda não é possível ter uma conclusão definitiva, pois não se tem os dados do Cálculo TCO do Fornecedor C e ainda neste sentido a amostragem entre duas opções de fornecimento é pequena a não garante uma resposta assertiva.

Seguindo com a tabulação dos dados, o último será o Fornecedor C. Recebida a proposta comercial, gerados os Dados Operacionais para este fornecedor, momento agora de alimentar a planilha TCO Fornecedor C.

No Quadro 40, é possível identificar a variação de dados numéricos entre as “Categorias” e “Variantes”, seguindo aquilo que a metodologia determina e esclarecendo de antemão os resultados preliminares para o Cálculo TCO deste fornecedor.

Quadro 40 - TCO Fornecedor C

TCO - Total Cost of Ownership				
Nome do produto/serviço:	Célula de Soldagem FORNECEDOR C			
Vida útil esperada do item (anos)	10			
Gestão Estratégica de Custos				
Categoria 1	Variáveis			R\$ Custos Subtotais (Ano)
Preço Inicial	Custo unitário			R\$ 198.500,00
	Despesas de capitais iniciais			R\$ 165.000,00
Subtotal				R\$ 363.500,00
Categoria 2	Variáveis	Incremento (Dia)	Quantidade	R\$ Receita (Ano)
Custo de Operações	Economia de mão de obra	R\$ 39.312,80	12	R\$ 471.753,55
Subtotal				R\$ 471.753,55
Categoria 3	Variáveis	Custo Unitário (Mês)	Quantidade	R\$ Custos Subtotais (Ano)
Logística	Frete	R\$ 22.000,00	1	R\$ 22.000,00
	Embalagem	R\$ 7.500,00	1	R\$ 7.500,00
	Disponibilidade	R\$ 32.000,00	1	R\$ 32.000,00
	Prazo de entrega	R\$ 14.000,00	1	R\$ 14.000,00
	Taxas de importação	R\$ 85.000,00	1	R\$ 85.000,00
Subtotal				R\$ 160.500,00
Categoria 4	Variáveis	Custo Unitário (Mês)	Quantidade	R\$ Custos Subtotais (Ano)
Vantagens Tecnológicas	Adequação para uso pretendido	R\$ 25.000,00	1	R\$ 25.000,00
Subtotal				R\$ 25.000,00
Categoria 5	Variáveis	Custo Unitário (Mês)	Quantidade	R\$ Custos Subtotais (Ano)
Manutenção	Suprimentos	R\$ 37.000,00	1	R\$ 37.000,00
	Treinamento	R\$ 8.000,00	1	R\$ 8.000,00
	Tempo de inatividade	R\$ 16.000,00	1	R\$ 16.000,00
	Peças de reposição	R\$ 35.000,00	1	R\$ 35.000,00
	Cronograma de manutenção preventiva	R\$ 15.000,00	3	R\$ 45.000,00
Subtotal				R\$ 141.000,00
Categoria 6	Variáveis	Custo Unitário (Mês)	Quantidade	R\$ Custos Subtotais (Ano)
Ciclo de Vida	Vida útil	R\$ 68.585,00	1	R\$ 68.585,00
	Obsolescência	-R\$ 61.726,50	1	-R\$ 61.726,50
Subtotal				R\$ 6.858,50
Categoria 7	Variáveis			R\$ Custos Subtotais (Ano)
Diversos	Custos de descarte			R\$ 8.350,00
	Custos de suporte			R\$ 18.000,00
	Instalação			R\$ 33.000,00
Subtotal				R\$ 59.350,00
RENDA				R\$ Rendas Subtotais (Ano)
Receita de Capital (único e não por ano)	Valor de revenda do equipamento			R\$ 729.067,50
	Valor de revenda/resgate de peças			R\$ 275.000,00
Subtotal				R\$ 1.004.067,50

Fonte: Autor, 2023.

Contudo, ainda não há uma conclusão de avaliação pois, como visto anteriormente, ainda são necessárias as demais informações que complementam o Cálculo TCO. Dando continuidade, o “Resumo Cálculo TCO Fornecedor C”, nos mostrará o sumário das informações presentes no Quadro 41 e permitirá uma breve comparação com os dados das Tabelas TCO Fornecedor A e TCO Fornecedor B:

Quadro 41 - Resumo Cálculo TCO Fornecedor C

Resumo		
Custos Totais por Ano		Custos Totais Durante Todo Ciclo de Vida
Categoria 1: Preço Inicial		
R\$	363.500,00	único, portanto, não aplicável
Categoria 2: Custo de Operações		
R\$	471.753,55	R\$ 4.717.535,55
Categoria 3: Logística		
R\$	160.500,00	R\$ 160.500,00
Categoria 4: Vantagens Tecnológicas		
R\$	25.000,00	R\$ 250.000,00
Categoria 5: Manutenção		
R\$	141.000,00	R\$ 1.410.000,00
Categoria 6: Ciclo de Vida		
R\$	6.858,50	R\$ 68.585,00
Categoria 7: Diversos		
R\$	59.350,00	R\$ 593.500,00
Renda - Receita de Capital		
R\$	1.004.067,50	R\$ 1.004.067,50

Fonte: Autor, 2023.

O Quadro “TCO Fornecedor C” mostra de forma ampla todas as “Categorias” e “Variáveis” dentro do Cálculo TCO para o Fornecedor C, e somada o Quadro 41, torna possível a resposta do “Resumo das Despesas/Receitas Fornecedor C”, no Quadro 32, que será analisada logo adiante, neste estudo.

Quadro 42 - Resumo das Despesas/Receitas Fornecedor C

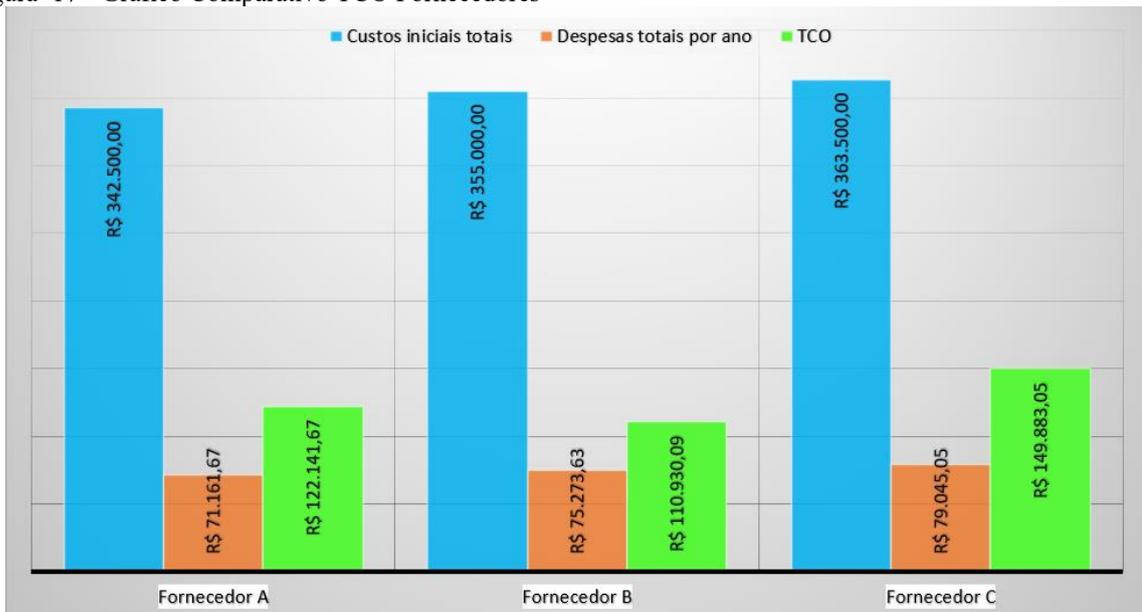
Resumo das despesas / receitas	Reais (R\$)	TCO (%)
Custos iniciais totais	R\$ 363.500,00	242,52%
Despesas totais por ano	R\$ 79.045,05	52,74%
Despesas totais durante toda a vida	R\$ 790.450,55	527,38%
Renda total	R\$ 1.004.067,50	669,90%
CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE	R\$ 149.883,05	100%

Fonte: Autor, 2023.

O Quadro 42 abrange todas as informações pertinentes para conclusão do Cálculo TCO para o Fornecedor C, uma vez que, da mesma forma que foi visto previamente nas Tabelas similares para Fornecedor A e Fornecedor B, ela clarifica o “Custo Total de Propriedade” para este fornecedor e permite a comparação entre os resultados de Cálculo TCO para os Fornecedores A, B e C, assim como, uma definição conclusiva de qual a melhor proposta comercial para robôs de soldagem entre três diferentes Fornecedores, dentro da Indústria de Manufatura.

Assim sendo, tem-se também uma resposta esclarecedora se esta Metodologia de Referência pode ser amplamente divulgada e utilizada para compras de Robôs de Soldagem. Para facilitar o entendimento e mostrar claramente as distinções entre Custos Iniciais Totais, Despesas Totais por Ano e TCO, a Figura 17 (Gráfico Comparativo TCO Fornecedores), mostra o comparativo real entre estes três elementos, tornando a diferenciação entre estes, clara e objetiva. A Figura 17 mostra o comparativo entre o TCO dos três fornecedores:

Figura 17 - Gráfico Comparativo TCO Fornecedores



Fonte: Autor, 2023.

5 CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as conclusões obtidas neste projeto, onde foi desenvolvida uma proposta para tomada de decisão, baseada na metodologia de referência TCO, para auxílio às empresas de pequeno porte no momento da aquisição de robôs de soldagem. O trabalho teve como vieses principais um Objetivo Geral e Objetivo Específico e apresenta contribuições aos processos de manufatura, em diferentes cenários industriais.

A grande gama de processos de fabricação, em especial os processos de soldagem robotizados, torna cada vez mais as empresas de modo geral dependentes de seus fornecedores, onde apenas custos iniciais de aquisição de equipamentos são tratados, ficando nas entrelinhas dados valiosos no quesito aquisição, como por exemplo custos de manutenção, transporte e treinamentos. Além do mais, na grande maioria das vezes a vida útil do equipamento não é levada em consideração no momento da compra, onde o real custo final não é revelado e pode se tornar um grande problema quando tratado, extrapolando orçamentos e elevando os custos departamentais das empresas.

Sendo assim, para aquisição de robôs de soldagem, surge uma interessante ferramenta de apoio, desenvolvida neste trabalho e baseada na ferramenta TCO (*Total Cost of Ownership*), denominada de Proposta para Tomada de Decisão na Aquisição de Robôs de Soldagem em Indústrias de Pequeno Porte pelo Método TCO, onde além de considerar os custos iniciais de aquisição, esta considera os custos do equipamento durante todo seu ciclo de vida. Dentro desta perspectiva, neste projeto foram selecionados três diferentes fornecedores, onde cada um apresentou diferentes propostas comerciais para fornecimento de uma célula de soldagem destinada a uma Indústria Metalúrgica de pequeno porte, no interior do Rio Grande do Sul. A metodologia em questão permitiu estratificar todas as principais “Variáveis” para este tipo de equipamento e processo aplicado, em cada orçamento apresentado.

Nos três resultados de TCO colhidos com o uso da metodologia, o Fornecedor B apresentou o melhor resultado, pois notadamente seu Custo Total de Propriedade foi o menor, em comparação com os demais. Conforme identificado na literatura, dentro da base bibliográfica estudada, o menor preço de compra pode indicar apenas uma pequena parte do TCO, e foi exatamente isso que aconteceu no estudo em questão.

O Fornecedor com o menor Preço Inicial, ou Custos Iniciais Totais (Fornecedor A), não teve o melhor desempenho quanto ao Custo Total de Propriedade, o que significa que na grande maioria das vezes a avaliação na compra de um equipamento não é feita de forma correta.

É importante salientar que a metodologia em questão atingiu os objetivos propostos, visto que todos os parâmetros indicados pela literatura foram utilizados (Categorias e Variáveis), focados na temática “robôs de soldagem” e tendo a ferramenta tecnológica elaborada e estrutura para ser utilizada em qualquer situação. A melhor opção de robô de soldagem, ficou com o Fornecedor B, com um Custo Total de Propriedade menor que os concorrentes.

A ferramenta ainda permitiu compreender que os custos de maior peso dentro de uma negociação para compra de robôs de solda, são Logística e Manutenção. Isso significa que tanto custos relacionados a Logística quanto Manutenção, devem ser melhor explorados junto aos fornecedores, antes da compra de um robô de soldagem, analisando estes cuidadosamente para que os resultados sejam os mais confiáveis possíveis. É notória ainda a contribuição deste trabalho no estado da arte, onde é perceptível uma lacuna para o assunto aqui discutido.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Poderão ser futuramente explorados, como oportunidade de incremento na ferramenta projetada e apresentada, os seguintes aspectos:

- ✓ Tabulação eletrônica automatizada para os dados de TCO, dentro de cada opção de fornecimento (Utilização de Macro ou VBA);
- ✓ Utilização de Redes Neurais Artificiais, para agilizar o processo de seleção de fornecedores, quanto aos parâmetros considerados inerentes aos processos de soldagem robotizada;
- ✓ Aplicação da ferramenta para outras atividades ligadas aos processos de manufatura, como por exemplo aquisição de ferramentas de usinagem, conformação e injeção;
- ✓ Ampla divulgação da ferramenta dentro das indústrias de médio e pequeno porte, que na grande maioria das vezes não investe em novos equipamentos devido aos elevados custos de aquisição.

REFERÊNCIAS

- ALMACAM. **Como implementar com sucesso a programação offline de seus robôs de solda?** Almacam. Disponível em: <<https://pt-br.almacam.com/como-implementar-com-sucesso-a-programacao-offline-de-robos-de-solda/>>. Acesso em: 24 nov. 2023.
- AFONSO, P. **Total Cost of Ownership for Supply Chain Management: A Case Study in an OEM of the Automotive Industry.** In: Emmanouilidis, C., Taisch, M., Kiritsis, D. (eds) *Advances in Production Management Systems. Competitive Manufacturing for Innovative Products and Services. APMS 2012. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol 398. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.
- ARCIDIACONO, G.; PIERONI, A. The revolution lean six sigma 4.0. **International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology**, 8(1), 141-149, 2018.
- 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.
- COELHO, F. G. F. et al. Proposta para o uso de robôs cooperativos na manufatura aditiva baseada no processo GMAW-P. **Soldagem & Inspeção**, vol. 26, 2021.
- ELLRAM, L. M. Total cost of ownership: elements and implementation. **International Journal of Purchasing and Materials Management**, 29 (3), pp. 2-11, 1993.
- ELLRAM, L. M. Total cost of ownership: an analysis approach for purchasing. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, 25 (8), pp. 4-23, 1995.
- ELLRAM, L. M.; SIFERD, S. P. Purchasing: the cornerstone of the total cost of ownership concept. **Journal of Business Logistics**, 14 (1), pp. 163-184, 1993.
- ELLRAM, L. M.; SIFERD, S. P. Total cost of ownership: a key concept in strategic cost management decisions. **Materials Engineering**, 19 (1), pp. 55-84, 1998.
- FARIA, I. C. S.; FILLETI, R. A. P.; HELLENO, A. L. Evolução dos processos de automação em células de soldagem: uma revisão de literatura. **Soldagem & Inspeção**, 27:e270, 2022.
- FERRIN, B.; PLANK, R., Total cost of Ownership Models: An Exploratory Study. **Journal of Supply Chain Management**, 2002.
- 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.
- GAMAL, M. et al. **Anomalies detection in smart manufacturing using machine learning and deep learning algorithms.** In *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Rome, Italy, August 2-5*, pp: 1611-1622, 2021.

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., **Anais [...]**. Beijing: IEEE, 2017. p. 6159-6164, 2017.

INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTIC (IFR). **Executive Summary World Robotics 2022 Industrial Robots**. 2022. Disponível em: https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_2022.pdf Acesso em: 12 mar. 2023.

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: 12 mar. 2023.

KIM, J. et al. Design and Implementation of an HCPS-Based PCB Smart Factory System for Next-Generation Intelligent Manufacturing. **Appl. Sci.**, 12, 7645, 2022.

KING, R. J. **A decision-making framework for total cost of ownership management of complex systems: a Delphy study**. [Doctoral Thesis]. Phoenix: University of Phoenix; 2008.

KUKA. **Robôs Industriais KCR**. Kuka Serviços. Disponível em: <<https://www.kuka.com/pt-br/produtos-servi%3%a7os/sistemas-de-rob%3%b4/rob%3%b4s-industriais/kr-cybertech>>. Acesso em: 24 nov. 2023.

KUTS, V. et al. Robot Manipulator Usage for Measurement in Production Areas. **Journal of Machine Engineering**, 16/1, 57–67, 2016.

LANDSCHEIDT, S.; KANS, M. **Method for Assessing the Total Cost of Ownership of Industrial Robots**. *Procedia CIRP* 2016, 57, 746–751, 2016.

LIMA JUNIOR., F. R.; CARPINETTI, L. C. R. Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. **Gestão & Produção**, v. 22, p. 17-34, 2015.

MAISENBACHER, S. et al. **Integrated Value Engineering: Consideration of Total Cost of Ownership for Better Concept Decision**. In *Proceedings of the 2016 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*, Honolulu, HI, USA, 4-8, pp. 623-632, 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.

MENDES, V. N. M. P. **Análise da Metodologia Total Cost of Ownership na selecção de fornecedores**. Tese de Doutorado. Universidade do Minho (Portugal), 2011.

MODENESI P.J.; MARQUES P.V.; SANTOS, D. B. **Introdução à Metalurgia da Soldagem**. UFMG, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Belo Horizonte, janeiro de 2012.

NWASUKA, N. C.; NWAIWU, U.; PRINCEWILL, N. C. (2022). Industry 4.0: an overview. **Proceedings on Engineering Sciences**, 4(1), 69-78, 2022.

PESSIN R. L. et al. **Custo Total de Uso e Propriedade (TCO): Um Modelo para Compra de Veículos de Transporte de Cargas**. USP, International Conference in Accounting, 2017.

ROMANO, L. N. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas**. Florianópolis: UFSC, 2003. 321p. Tese Doutorado, 2003.

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: 12 mar. 2023.

SCHMIDT, P. et al. **A importância do total cost of ownership no gerenciamento da cadeia de suprimentos**. ConTexto - Contabilidade em Texto, Porto Alegre, v. 13, n. 25, 2013. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ConTexto/article/view/40240>. Acesso em: 24 out. 2023.

SUMIG. **Moducell PD-2000 - Célula de Soldagem Robotizada**; 2023 [acesso em 16 junho 2023]. Disponível em: <https://www.sumig.com/pt/produto/detalhe/moducell-pd-2000-celula-de-soldagem-robotizad>. Acesso em: 15 jul. 2023.

TAYEH, T.; SHAMI, A. **Anomaly Detection in Smart Manufacturing with an Application Focus on Robotic Finishing Systems: A Review**. ECE Department, Western University, London, Canada. 13 Jul, 2021.



UPF
UNIVERSIDADE
DE PASSO FUNDO

UPF Campus I - BR 285, São José
Passo Fundo - RS - CEP: 99052-900
(54) 3316 7000 - www.upf.br