

**ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL DOM BOSCO
FACULDADE DE ENGENHARIA DE RESENDE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**BRUNA TAVARES COUTINHO SANTOS
MARCO ANTÔNIO SILVÉRIO JUNIOR**

**IMPLEMENTAÇÃO DE ROBÔS DE AUTOMAÇÃO COLABORATIVOS EM UMA
CABINE DE PINTURA DE PARA-CHOQUES COMO MÉTODO DE EVOLUÇÃO
NO PROCESSO E COM FOCO NA QUALIDADE**

RESENDE
2022

**BRUNA TAVARES COUTINHO SANTOS
MARCO ANTÔNIO SILVÉRIO JUNIOR**

**IMPLEMENTAÇÃO DE ROBÔS DE AUTOMAÇÃO COLABORATIVOS EM UMA
CABINE DE PINTURA DE PARA-CHOQUES COMO MÉTODO DE EVOLUÇÃO
NO PROCESSO E COM FOCO NA QUALIDADE**

Monografia apresentada à Associação Educacional Dom Bosco, Faculdade de Engenharia de Resende (FER) Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Me. Anderson Elias Furtado

RESENDE
2022

Catálogo na fonte
Biblioteca Central da Associação Educacional Dom Bosco – Resende-RJ

S237 Santos, Bruna Tavares Coutinho
Implementação de robôs de automação colaborativos em uma cabine de pintura de para-choques como método de evolução no processo e com foco na qualidade / Bruna Tavares Coutinho Santos; Marco Antônio Silvério Junior - 2022.
47f.

Orientador: Anderson Elias Furtado

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à finalização do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Resende da Associação Educacional Dom Bosco.

1. Engenharia. 2. Robôs. 3. Robôs colaborativos. 4. Pintura automotiva. 5. Indústria 4.0. 6. Qualidade. I. Silvério Júnior, Marco Antônio. II. Furtado, Anderson Elias. III. Faculdade de Engenharia de Resende. IV. Associação Educacional Dom Bosco. V. Título.

CDU 621.865.8 (043)

**BRUNA TAVARES COUTINHO SANTOS
MARCO ANTÔNIO SILVÉRIO JUNIOR**

**IMPLEMENTAÇÃO DE ROBÔS DE AUTOMAÇÃO COLABORATIVOS EM UMA
CABINE DE PINTURA DE PARA-CHOQUES COMO MÉTODO DE EVOLUÇÃO
NO PROCESSO E COM FOCO NA QUALIDADE**

Monografia apresentada à Associação Educacional Dom Bosco, Faculdade de Engenharia de Resende (FER) Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

BANCA AVALIADORA:

Prof. Me. Diniz Félix dos Santos Filho

Prof. Esp. Francisco Luiz Fernandes

Prof. Me. Anderson Elias Furtado
(Orientador)

Resende, 07 de novembro de 2022.

Dedicamos este trabalho aos nossos familiares,
os quais foram essenciais em nossa trajetória
acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por nos abençoar nesta jornada ao longo do curso. Gratidão aos nossos pais amados, que nos educaram com amor e se dedicaram à nossa educação como ser humano.

Por fim, gratidão aos nossos professores acadêmicos que nos auxiliaram durante o período de graduação e ao nosso orientador de Trabalho de Conclusão de Curso, *prof. Msc Anderson Furtado*, pela dedicação e sabedoria ao nos orientar.

Tu criaste o íntimo do meu ser e me teceste no ventre de minha mãe.

Eu te louvo porque me fizeste de modo especial e admirável. Tuas obras são maravilhosas! Disso tenho plena certeza.

Meus ossos não estavam escondidos de ti quando em secreto fui formado e entretecido como nas profundezas da terra.

Os teus olhos viram o meu embrião; todos os dias determinados para mim foram escritos no teu livro antes de qualquer deles existir.

Salmos 139. 13-16

RESUMO

O presente trabalho pretende contribuir com um estudo de caso de implementação de robôs de automação colaborativos em uma estação de base de uma cabine de pintura de para-choques visando eliminar ou diminuir os impactos gerados por *Color Mismatch*, um defeito relacionado à diferença de tonalidade entre para-choque e carroceria em comparação ao padrão pré-estabelecido. Para auxiliar na solução das falhas foi utilizado o Diagrama de Ishikawa e o 5W. Através da utilização dessas ferramentas, foram identificadas as causas raízes do problema, propostas melhorias, padronizada a melhor solução para o problema e assim foi possível estimar uma redução significativa nos custos com desperdícios advindos das falhas. Estima-se uma redução na média de repintura, imediatamente após as ações tomadas, na ordem de 42%. A média na eficiência de aplicação da tinta antes em 60%, estima atingir o percentual de 85%.

PALAVRAS-CHAVE: Robô; Indústria 4.0; Tecnologia; Implementação; Pintura; Para-choque; Diagrama de Ishikawa; 5W; Indústria Automobilística; Qualidade.

ABSTRACT

The present work intends to contribute to a case study of implementation of collaborative automation robots in a base station of a bumper paint booth aiming to eliminate or decrease the impacts generated by Color Mismatch, a defect related to the difference in tint between bumper and bodywork compared to the pre-established standard. The Ishikawa Diagram and 5W were used to assist in the solution of the faults. Through the use of these tools, the root causes of the problem were identified, improvements proposed, standardized the best solution to the problem and thus it was possible to estimate a significant reduction in the costs of waste arising from failures. It is estimated a reduction in the average refinish, immediately after the actions taken, in the order of 42%. The average in the efficiency of application of the ink before at 60%, estimates reaching the percentage of 85%.

KEYWORDS: Robot; Industry 4.0; Technology; Implementation; Paint; Bumper; Ishikawa diagram; 5W; Automotive Industry; Quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: A interação homem-robô.	18
Figura 2: Robô Colaborativo.	20
Figura 3: Interação entre robô e humano em um espaço limitado de uma linha de montagem.	21
Figura 4: Componentes estruturais para HRCS.....	22
Figura 5: Normas de segurança relacionadas ao projeto e implementação do HRC.	24
Figura 6: Estrutura prioritária de padrões para HRC com base na base na ISO 12100:2010. .	25
Figura 7: Medidor de Espessura de Camada de Tinta.....	30
Figura 8: Estrutura do diagrama de causa e efeito.	31
Figura 9: Método de aplicação da ferramenta de 5 Porquês.	32
Figura 10: Fluxograma de identificação da causa raiz.....	34
Figura 11: Perdas de para-choque por tonalidade de cor (NSTR).....	36
Figura 12: Desvios de aplicações da tinta.	36
Figura 13: Diagrama de Ishikawa.	37
Figura 14: Exemplo 5 PORQUES utilizado na análise.....	37
Figura 15: Processo atual da estação da cabine de base.....	38
Figura 16: Condição proposta para o processo da estação da cabine de base.	39
Figura 17: Requisitos e Premissas para Instalação dos Robôs.	39
Figura 18: Plano de Ação.	40
Figura 19: Tendência de redução no custo por volume de veículo produzido.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados da aplicação automática da cabine de base.	40
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

HRC	Human Robotic Collaboration (Colaboração entre Robô - Humano)
IFR	International Federation of Robotics (Federação Internacional de Robótica)
NSTR	Straight Through Ratio (Indicador para 2º retrabalho e, conseqüente, refugo)
RIA	Robotic Industry Association (Associação da Indústria Robótica)
QAC	Código utilizado para referenciar a cor branca perolada.
5W	5 Whys (5 PORQUES)
6 M'S	Machines; Methods; Materials; Mother Nature; Manpower; Measures (Máquinas; Métodos; Materiais; Meio ambiente; Mão-de-obra; Medição)
PP	Polipropileno
ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacional para Padronização)

LISTA DE SÍMBOLOS

M	Milhões.
BRL	Moeda brasileira (Real).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivo Geral	16
1.2 Objetivos Específicos	16
1.3 Justificativa	16
1.4 Relevância	17
2. REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1 Sistemas Híbridos	18
2.2 Robô Colaborativo	19
2.2.1 Sistemas Robóticos Colaborativos.....	19
2.2.2 Estrutura do Robô Colaborativo	21
2.3 Operações De Manufatura Com Robôs Colaborativos	25
2.4 Revestimento De Tinta Em Para-Choques Automotivos	26
2.5 Medição De Pintura Automotiva	28
2.6 Gestão Da Qualidade	30
2.6.1 Diagrama de Ishikawa	31
2.6.2 5 Porquês	32
3. METODOLOGIA	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 Acompanhamento Inicial Do Projeto	35
4.1.1 Análise	36
4.1.2 Solução Proposta.....	38
4.1.3 Plano de Ação	39
4.1.4 Resultados Econômicos.....	40
5. CONCLUSÕES	42
6. INDICAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	43
REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

A tendência recente do mercado exige a produção em massa customizada, ou seja, fornecer ao cliente uma ampla gama de produtos diferentes sem aumentar o custo ou o lead time (TSENG et al., 1996). Nos últimos anos, robôs colaborativos, ou simplesmente cobots (COLGATE et al., 1996), foram adotados para melhorar a flexibilidade dos sistemas de produção. Sistemas colaborativos humano-robô surgiram como uma solução que visa satisfazer a demanda atual de produtos altamente personalizados, combinando as habilidades de humanos e robôs dentro de um espaço de trabalho compartilhado.

Elprama et al. (2016) afirma que robôs colaborativos diferem dos robôs industriais tradicionais usados na fabricação porque eles são projetados para serem seguros, ou seja, sensores no robô podem identificar quando um trabalhador se aproxima, sem a necessidade das cercas que normalmente delimitam os robôs tradicionais. Além disso, são fáceis de implementar e técnicos e operadores, com treinamento mínimo, podem usar Cobots. (KOPACEK, 2019; DOYLE-KENT, KOPACEK, 2020).

Em conclusão, os robôs colaborativos são considerados um pilar definidor da Indústria 4.0. Ao contrário dos robôs industriais convencionais, onde robôs e humanos são separados para garantir a segurança, os sistemas robóticos colaborativos devem interagir com operadores humanos, e sistemas de controle e sensores integrados são usados para evitar e reduzir o impacto de colisões e aumentar a segurança inerentemente.

A falha do presente estudo, situação real de uma fabricante de veículos da região Sul Fluminense, intitula-se como *Color Mismatch* e refere-se a diferença de tonalidade entre o para-choque e a carroceria dos veículos, se comparado ao padrão pré-estabelecido de parametrização. A falha encontra-se entre os mais recorrentes problemas de campo da empresa, trazendo desperdícios e prejuízos financeiros para a organização. Neste trabalho foram aplicadas ferramentas da qualidade, com objetivo de analisar o problema encontrado na empresa, suas causas-raízes e solucionar os transtornos decorrentes do problema.

1.1 Objetivo Geral

Este projeto tem por objetivo um estudo de caso de implementação de robôs de automação colaborativos em uma estação de base de uma cabine de pintura de para-choques, a fim de automatizar o processo de base e garantir uma aplicação uniforme, reduzindo consideravelmente o impacto no cliente referente aos defeitos por *color mismatch*.

1.2 Objetivos Específicos

- Analisar as causas raízes do problema;
- Eliminar perdas internas e impacto nos clientes devido aos defeitos de qualidade;
- Redução na ordem 40% no consumo de material e custos com repintura relacionados aos problemas de tonalidade;
- Oportunidade de aumento de capacidade na cabine conforme estudo.

1.3 Justificativa

No âmbito industrial, a interação e a colaboração humano-robô são algumas das oportunidades promissoras para o desenvolvimento de aplicações de robôs no futuro (CERIANI et al., 2015), uma vez que a automatização e modernização dos postos de trabalho permitem ganhos de produtividade e eficiência nas empresas. Espera-se que a robótica seja um dos principais facilitadores da transição para a manufatura avançada (PEDERSEN et. al., 2016).

Nesse contexto, este trabalho pretende contribuir com um estudo de caso de implementação de robôs colaborativos dentro de uma cabine de pintura de para-choques de uma indústria automotiva. Tal contribuição mostra-se relevante do ponto de vista da indústria, devido aos benefícios em termos de flexibilidade e produtividade que se pode alcançar em uma operação colaborativa (IBARGUREN et al., 2015; CHARALAMBOUS; FLETCHER; WEBB, 2015; MICHALOS et al., 2014; KRÜGER; LIEN; VERL, 2009).

Do ponto de vista social, este trabalho mostra-se também relevante ao tratar dos aspectos da saúde e da segurança do trabalho, pois em um posto de trabalho colaborativo é possível evitar muitas situações de desconforto, ergonomia e insalubridade para a saúde do operador (IBARGUREN et al., 2015; KRÜGER; LIEN; VERL, 2009). Além disso, pode-se também

reduzir os encargos trabalhistas que impactam as empresas e o governo, quando se torna necessário afastar um trabalhador por motivo de doença do trabalho.

1.4 Relevância

A interação humano-robô no processo produtivo está em foco na literatura, bem como nas empresas de tecnologia e do setor industrial (TSAROUCHI; SOTIRIS; CHRYSSOLOURIS, 2016). A robótica é uma importante tecnologia da Indústria 4.0, que fornece amplas capacidades no campo da fabricação. Essa tecnologia tem sistemas de automação aprimorados e faz trabalhos repetitivos com precisão e a um custo menor. (JAVAID ET AL., 2021)

A robótica está progressivamente levando à fabricação de produtos de qualidade, mantendo o valor dos esquemas de colaboradores existentes. O resultado principal da Indústria 4.0 são fábricas inteligentes desenvolvidas com o auxílio de robótica avançada, dados maciços, computação em nuvem, segurança sólida, sensores inteligentes, Internet das coisas e outros desenvolvimentos tecnológicos avançados para serem altamente poderosos, seguros e econômicos. (JAVAID ET AL., 2021)

As falhas referentes ao *color mismatch* geram impacto negativo na saúde e ergonomia dos operadores, visto que se trata de uma operação parcialmente manual. Além disso, esse defeito gera retrabalho, consumo de material e repintura. Com isso, impactam diretamente no custo da empresa e geram um impacto significativo na visão da marca pelos clientes. Sendo assim, trabalhar para reduzir ou eliminar essa cadeia de impactos é muito importante para manter a competitividade da empresa, justificando a execução da pesquisa e toda atividade realizada nesse trabalho.

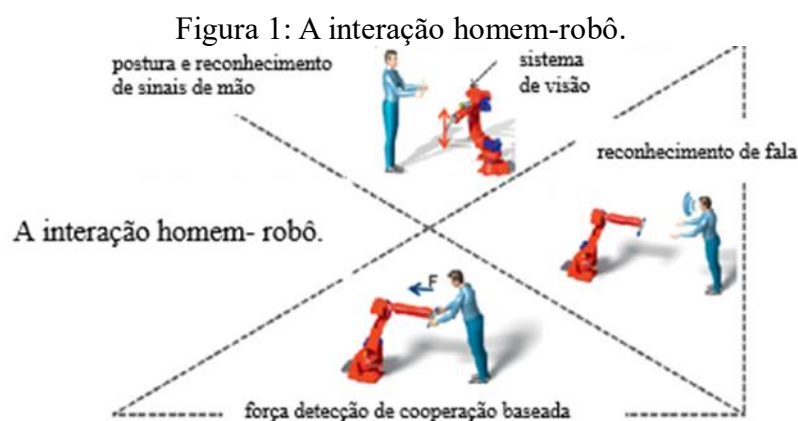
Nesse contexto, este trabalho pretende contribuir com um estudo de caso de implementação de robôs de automação colaborativos em uma cabine de pintura de para choque de uma indústria automobilística situada na região Sul Fluminense, visando otimização de processos e redução dos custos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Sistemas Híbridos

Durante a última década, o setor industrial apresentou um crescente interesse em processos de fabricação mais flexíveis, onde os humanos e robôs devem trabalhar juntos. Para esse fim, robôs colaborativos são robôs projetados especificamente para interação com humanos dentro de um espaço de trabalho colaborativo (ISO, 2011). A ideia principal de um sistema híbrido é permitir a colaboração entre humanos e máquinas, compartilhando um espaço de trabalho comum (KRÜGER; LIEN; VERL, 2009). Lien e Rasch (2001) e Heilala e Voho (2001) definem o sistema híbrido como uma estação de trabalho semiautomática, na qual o processo é automatizado de maneira parcial.

Um sistema HRC (Human Robot Collaboration, sistema de colaboração Humano-Robô, em tradução livre) refere-se a um espaço de trabalho comum, onde robôs e a força de trabalho colaboram para processar um produto em conjunto. Esses robôs, capazes de colaborar com os trabalhadores, são chamados de *cobots*. Diversos estudos relatam os benefícios dos sistemas HRC em termos de rendimento, qualidade do produto, ergonomia, segurança e flexibilidade (MICHALOS ET AL., 2014; TSAROUCHI ET AL., 2016; SADIK & URBAN, 2017). A figura 1 mostra a concepção de cooperação entre robô e humano.



Fonte: Adapto de Michalos et al. (2014).

2.2 Robô Colaborativo

Gaskill e Went (1996), define o robô industrial como uma máquina de manipular automática, reprogramável, com múltiplos propósitos e com braços com vários graus de liberdade. O robô industrial se apresenta como uma das soluções utilizadas para se automatizar os processos industriais (BROWN; BESSANT, 2003).

A aplicação de robôs na indústria surgiu na década de 1970, sendo utilizados no ramo da indústria automotiva. Esses robôs se caracterizam pela sua força elevada, resistência e precisão (MURASHOV; HEARL; HOWARD, 2016). São utilizados nas operações de soldar, pintar, montar, movimentar e testar (DJURIC; URBANIC; RICKLI, 2016; VASIC; BILLARD, 2013). E, a fim de atender às necessidades da indústria em muitos domínios, como o automotivo e o aeroespacial, entre outros, tais robôs se apresentam em diversas configurações (DJURIC; URBANIC; RICKLI, 2016).

Robôs colaborativos foram desenvolvidos com interfaces intuitivas que suportam operadores humanos na carga de trabalho física de tarefas de fabricação, como manusear materiais perigosos ou executar ações repetitivas com alta confiabilidade (PARRA ET AL., 2020). Além disso, a interação direta entre operadores humanos e robôs foi aprimorada com o uso de sensores e softwares que permitem interação física segura, manipulação intuitiva e atividades livres de colisão. Com a inclusão de robôs colaborativos, o HRC parece ser uma estratégia conveniente para as organizações de manufatura que buscam reduzir o risco ocupacional e a carga de trabalho geral dos operadores humanos, aumentando os indicadores de eficiência e produtividade (REALYVÁSQUEZ-VARGAS ET AL., 2019).

2.2.1 Sistemas Robóticos Colaborativos

Mais de três milhões de robôs industriais operam em fábricas em todo o mundo, de acordo com o último relatório World Robotics (2021) da Federação Internacional de Robótica (IFR). Robôs industriais são usados em toda a indústria, e especificamente na agricultura e fábrica de alimentos. A definição de robô mais comumente aceita é possivelmente a da *Robotic Industry Association* (RIA) (2021), segundo a qual: “Um robô industrial é um manipulador multifuncional reprogramável, capaz de movimentar materiais, peças, ferramentas ou dispositivos. trajetórias variáveis, programadas para realizar diversas tarefas”. Os últimos avanços tecnológicos permitiram transformar os robôs industriais, reduzindo os custos de

automação e dotando-os de novas habilidades de percepção, movimento e aprendizado (RIA, 2021). Está exemplificado na figura 2, um robô colaborativo industrial.

Figura 2: Robô Colaborativo.



Fonte: Buying Guides Direct Industry, 2022.

Atualmente, com as tecnologias emergentes de robôs colaborativos e móveis, a prevenção de riscos e saúde e segurança no trabalho adquirem uma nova dimensão da tradicional que contemplamos com robôs confinados, e talvez disruptiva ao se contemplar a Inteligência Artificial porque se o automatismo do robô agrega inteligência a ele, temos um robô que atua com padrões humanos (RIA, 2021).

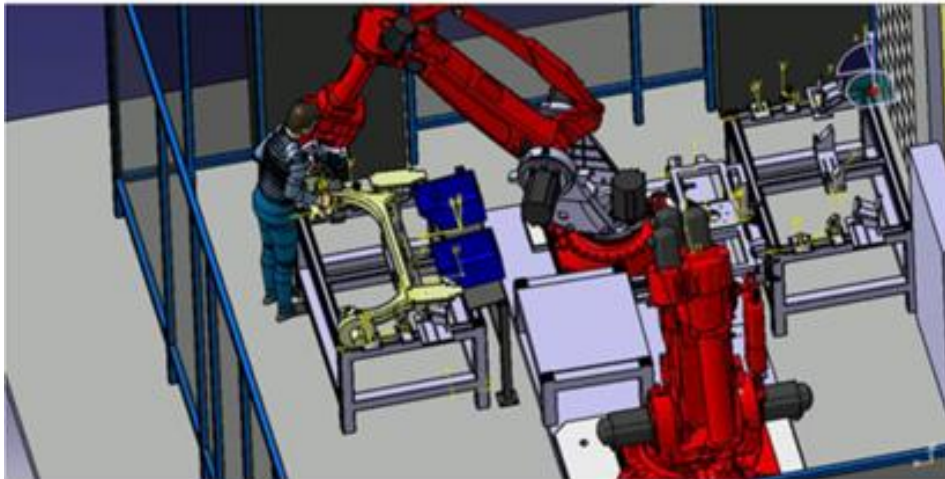
Robôs colaborativos são amplamente implementados em fábricas de todos os tipos para realizar diferentes tarefas. Eles são um elemento-chave da digitalização e da indústria 4.0. Isso permite automatizar tarefas tediosas que não agregam valor ao produto. Assim, os robôs colaborativos desempenham o papel de assistentes do trabalhador (MARATIC, 2014). Eles não apenas executam tarefas robóticas tradicionais, mas adicionam diferentes sensores, como câmeras, sensores de temperatura, sensores de força, realizando tarefas muito mais complexas, que até agora eram impensáveis de forma automatizada. Ou seja, os robôs se tornam mais inteligentes (MARATIC, 2014).

Os robôs têm grandes vantagens para que possam ser usados em todos os tipos de ambientes e para outras tarefas que a robótica industrial não pode resolver. Eles não requerem instalações elétricas complicadas e podem ser conectados a praticamente qualquer tomada elétrica. São fáceis e intuitivos de montar. Eles são muito flexíveis e podem ser realocados para novas tarefas sem alterar os cronogramas de produção. Eles também permitem reutilizar programas e automatizar várias tarefas na mesma linha de produção (MARATIC, 2014).

A programação *Cobot* é muito intuitiva e fácil de implementar. Os *cobots* podem ser usados em todos os tipos de indústrias e ambientes. Além disso, eles são seguros e permitem automatizar processos e tarefas pesadas que causam lesões e não agregam valor ao processo (PIRES, 2020).

A robótica tem um grande potencial, pois permite aumentar a segurança. Os robôs podem realizar tarefas repetitivas e perigosas, que não podem ser realizadas por humanos ou envolvem alto risco. Eles também permitem que se execute tarefas com espaço limitado ou em ambientes extremos (PIRES, 2020). Está exemplificado na figura 3, a interação entre robô e humano em um espaço limitado de uma linha de montagem.

Figura 3: Interação entre robô e humano em um espaço limitado de uma linha de montagem.



Fonte: (Michalos et al, 2014).

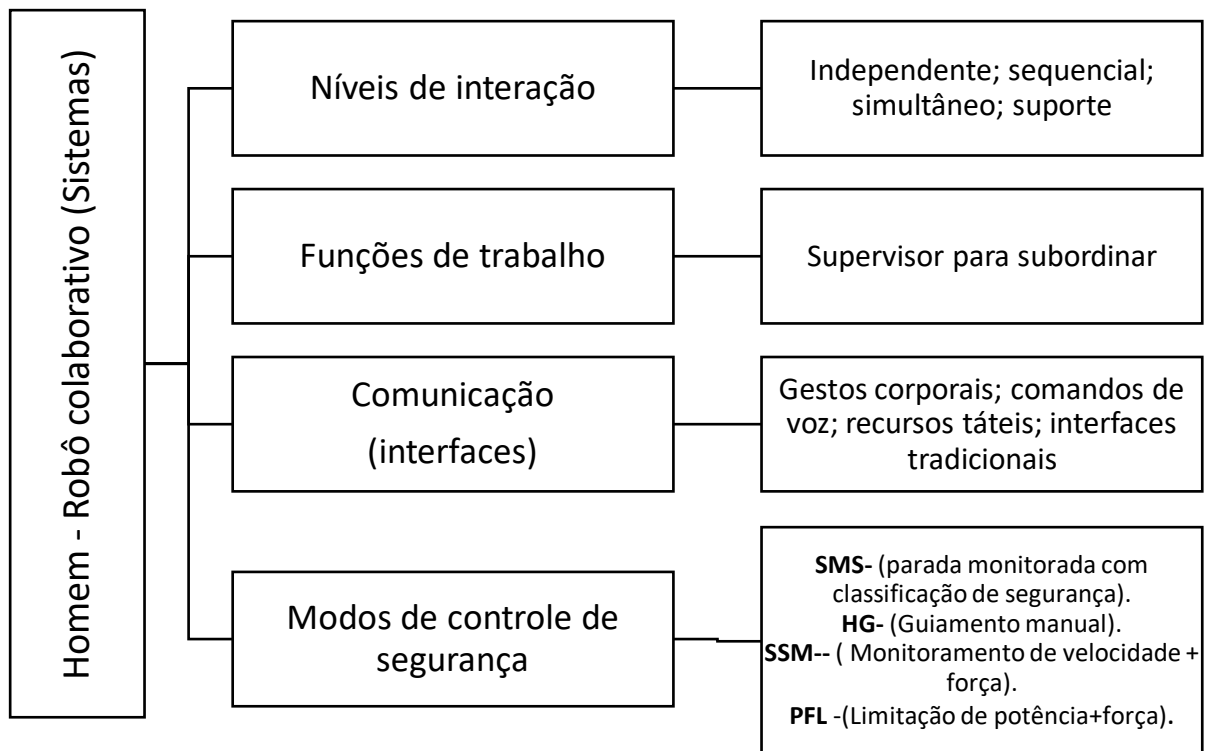
2.2.2 Estrutura do Robô Colaborativo

A combinação equilibrada de padrões desempenha um papel fundamental no esclarecimento de operadores humanos como atender aos requisitos de segurança em ambientes colaborativos (HANNA ET AL, 2020). No entanto, as organizações de manufatura sentem-se confiantes em utilizar os métodos rígidos de automação existentes para cumprir a segurança do HRC (BRUCH ET AL, 2020). Em outras palavras, ao configurar um robô colaborativo, as organizações de manufatura usam exatamente as mesmas avaliações de segurança que os robôs convencionais. (SEGURA ET AL, 2022.)

Os chamados componentes estruturais (ou seja, níveis de interação, funções de trabalho, interfaces de comunicação e modos de controle de segurança) foram encontrados como meios organizacionais e tecnológicos necessários para satisfazer as funcionalidades básicas de trabalho entre operadores humanos e robôs colaborativos. (SEGURA ET AL, 2022.)

Gualtieri et al (2020), distingue segurança, ergonomia, e eficiência como as principais diretrizes para o projeto de HRC. No caso de Bruch et al (2020), segurança juntamente com flexibilidade e aplicabilidade são as principais áreas a serem consideradas ao trabalhar colaborativamente com um companheiro robótico. Além disso, a segurança tem sido considerada o fator de habilitação mais importante para a confiança na colaboração bem-sucedida entre humanos e robôs (ARBOLEDA ET AL, 2020). Está exemplificado na figura 4, os componentes estruturais para HRC.

Figura 4: Componentes estruturais para HRCS.



Fonte: Adaptado de Segura et al, 2022.

As práticas regulamentadas relevantes para a garantia de segurança do HRC foram desenvolvidas pela Organização Internacional para Padronização (ISO). Em particular, a ISO 12100:2010 padrão (ISO 12100:2010 Segurança do maquinário) focada em métodos de avaliação de risco, estabeleceu a seguinte estrutura padrão para ajudar os profissionais a identificar e reduzir os riscos associados à máquina:

- **Padrões Tipo A:** Fornecem requisitos básicos de segurança, conceitos e princípios para o projeto geral de ambientes relacionados à máquina.
- **Padrões tipo B:** Fornecem requisitos genéricos de segurança para uma ampla variedade de ambientes relacionados a máquinas.
- **Padrões Tipo-B1:** Consideram os requisitos para aspectos específicos dos ambientes de trabalho.
- **Padrões Tipo-B2:** Contemplam requisitos para sistemas de proteção.
- **Normas Tipo-C:** Fornecem requisitos de segurança detalhados para um determinado grupo de máquinas e seus respectivos ambientes.

Encontra-se listadas na figura 5, as normas de segurança relacionadas ao projeto e implementação do HRC.

Figura 5: Normas de segurança relacionadas ao projeto e implementação do HRC.

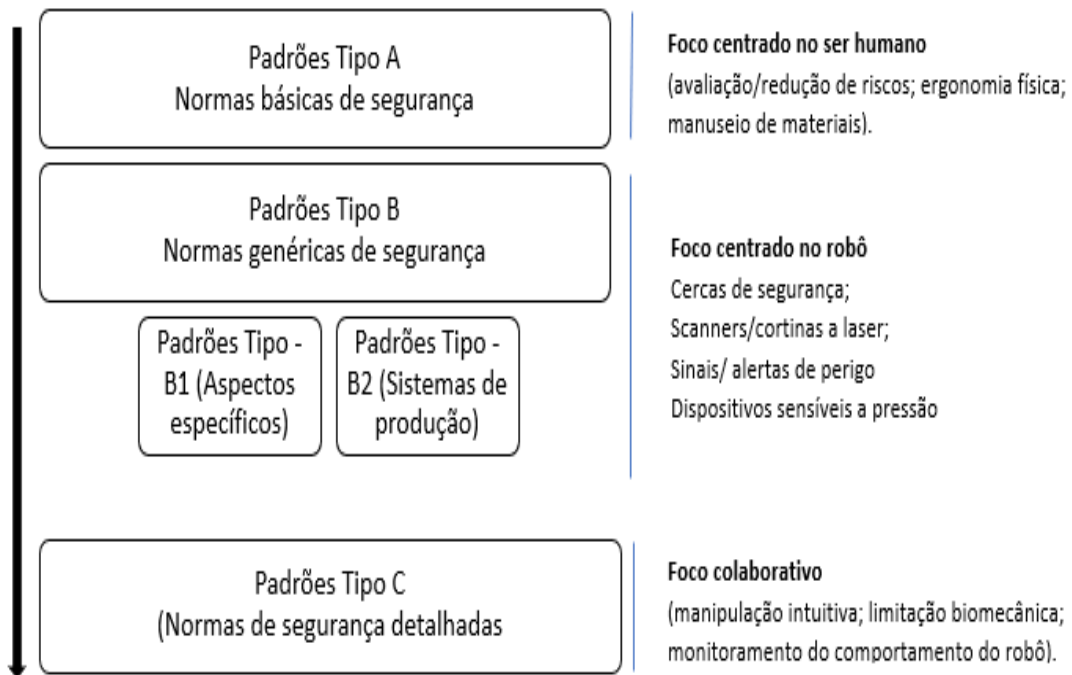
Padrão		Descrição do tipo
ISO 6385:2016	UMA	Princípios de ergonomia no projeto de sistemas de trabalho
ISO 9241-125:2017	UMA	Interação homem-sistema: Orientação sobre apresentação visual de informações
ISO 9241-210:2010	UMA	Interação homem-sistema: Design centrado no homem para sistemas Interativos
ISO 10075-1:2017	UMA	Carga de trabalho mental: questões gerais e conceitos, termos e definições
ISO 10075-2:1996	UMA	Carga de trabalho mental: princípios de design
ISO 10075-3:2004	UMA	Carga de trabalho mental: Princípios e requisitos para medir e avaliar
ISO 11226:2000	UMA	Avaliação de posturas de trabalho estáticas
ISO 11228-1:2003	UMA	Movimentação manual: Elevação e transporte
ISO 11228-2:2007	UMA	Manuseio manual: Empurrar e puxar
ISO 11228-3:2007	UMA	Movimentação manual: Movimentação de cargas baixas em alta frequência
ISO 11161:2007	UMA	Sistemas Integrados de manufatura: Requisitos básicos
ISO 12100:2010	UMA	Princípios gerais para o projeto: avaliação de risco e redução de risco
ISO/TR 12295:2014	UMA	Manuseio manual e avaliação de posturas de trabalho estáticas
ISO 14121-1:2007	UMA	Avaliação de risco: Princípios
ISO 14121-2:2012	UMA	Avaliação de risco: orientação prática e exemplos de métodos
ISO/DIS 14738	UMA	Requisitos antropométricos para o projeto de estações de trabalho para Indústrias
ISO 14915-1:2002	UMA	Ergonomia de software para interfaces de usuário: princípios e estrutura de design
ISO 14915-2:2003	UMA	Ergonomia de software para interfaces de usuário: navegação e controle multimídia
ISO 26800:2011	UMA	Abordagem geral, princípios e conceitos (Ergonomia)
ISO/IEC 29194:2015	UMA	Guia sobre como projetar sistemas biométricos acessíveis e inclusivos
ISO 13849-1:2015	B1	Partes relacionadas à segurança de sistemas de controle: Princípios gerais para projeto
ISO 13849-2:2012	B1	Partes relacionadas à segurança dos sistemas de controle: Validação
ISO 7731:2003	B2	Sinais de perigo para áreas públicas e de trabalho: Sinais de perigo auditivos
ISO 11428:1996	B2	Sinais visuais de perigo: requisitos gerais, design e testes
ISO 11429:1996	B2	Sistema de sinalização auditiva e visual de perigo e informação
ISO 13850:2015	B2	Função de parada de emergência: Princípios para projeto
ISO 13851:2019	B2	Dispositivos de controle bimanuais: Princípios para projeto e seleção
ISO 13855:2010	B2	Posicionamento de salvaguardas em relação às velocidades de partes do corpo humano
ISO 13856-1:2013	B2	Princípios gerais para projeto e teste de tapetes e pisos sensíveis à pressão
ISO 13856-2:2013	B2	Princípios gerais para projeto e teste de bordas e barras sensíveis à pressão
ISO 13856-3:2013	B2	Princípios gerais para projeto e teste de para-choques e fios sensíveis à pressão
ISO 14120:2015	B2	Requisitos gerais para o projeto e construção de proteções fixas e móveis
ISO 8373:2012	C	Robôs e dispositivos robóticos: Vocabulário
ISO 9283:1998	C	Crítérios de desempenho e métodos de teste relacionados (Manipulação de robôs industriais)
ISO 10218-1:2011	C	Requisitos de segurança para robôs industriais: Robôs
ISO 10218-2:2011	C	Requisitos de segurança para robôs industriais: sistemas de robôs e Integração
ISO/TS 15066:2016	C	Requisitos de segurança para robôs industriais: robôs colaborativos

Fonte: Adaptado de Segura et al, 2022.

A perspectiva atual centrada em tecnologia é complementada com a inclusão de ambientes colaborativos e, mais importante, operadores humanos. A conformidade de segurança da infraestrutura do HRC é validada inicialmente por sua funcionalidade colaborativa e, finalmente, por sua centralidade humana. (SEGURA ET AL, 2022)

Está exemplificado na figura 6, a estrutura prioritária de padrões para HRC com base na base na ISO 12100:2010.

Figura 6: Estrutura prioritária de padrões para HRC com base na base na ISO 12100:2010.



Fonte: Adaptado de Segura et al, 2022.

2.3 Operações De Manufatura Com Robôs Colaborativos

O mercado atual impulsionado pela competitividade globalizada e inovação forçou a indústria manufatureira a alcançar níveis mais altos de eficiência, flexibilidade e mutabilidade. Isso produziu um aumento impressionante de produtos variantes, o encurtamento de seus ciclos de vida correspondentes, e em última análise, o avanço da produção em massa para customização. (ALJINOVIC ET AL., 2020; BLANKEMEYER ET AL., 2018).

Tradicionalmente, configurações totalmente automatizadas têm sido implementadas para responder à demanda de grandes lotes de produtos homogêneos (BERG ET AL., 2019). No entanto, meios rígidos de automação não são viáveis para customização em massa devido a restrições de tempo causadas pelos processos necessários de instalação, configuração e reprogramação (BLANKEMEYER ET AL., 2018). De acordo com Gualtieri et al (2019), uma solução para esses inconvenientes é construir sistemas de manufatura flexíveis em termos de tamanhos de lotes, número de variantes e velocidade de *time-to-market*. Assim, sistemas de manufatura com níveis escaláveis de automação são necessários para lidar com sucesso com vários produtos de pequenos e médios volumes (FAST-BERGLUND ET AL., 2016).

A Indústria 4.0, como a atual transformação dos sistemas de manufatura, introduz uma mudança de paradigma suportada por novas tecnologias que juntas possibilitam a descentralização dos processos produtivos (AGHEZZAF ET AL., 2018). Por exemplo, robôs colaborativos (ou *cobots*) foram desenvolvidos com interfaces intuitivas, sensores e software para auxiliar os operadores humanos na execução de tarefas físicas exigentes (ou seja, manuseio de materiais perigosos ou execução de operações repetitivas) (PARRA ET AL., 2020). Além disso, os sistemas colaborativos humano-robô (HRCS) visam alcançar maior flexibilidade na produção de volumes de diversos tamanhos (DIMITROKALLI ET AL., 2020).

O HRCS está sendo adotado na indústria manufatureira como uma solução que combina, dentro de um espaço de trabalho compartilhado, as habilidades de precisão e repetibilidade de robôs colaborativos com a destreza e capacidades cognitivas de operadores humanos (SEGURA ET AL., 2021). Esse esquema semiautomatizado, que integra a robótica moderna e o trabalho manual legado, é visto como um instrumento promissor para objetivos de customização em massa (DIMITROKALLI ET AL., 2020; DING ET AL., 2019).

2.4 Revestimento De Tinta Em Para-Choques Automotivos

A demanda por reciclagem de materiais plásticos aumentou à medida que o interesse pela proteção ambiental e conservação dos recursos cresceu. A indústria automotiva não é exceção. Entre as peças automotivas, os para-choques plásticos são relativamente fáceis de reciclar devido ao seu tamanho e porque geralmente consistem em um único material de polipropileno (PP). Os compósitos de polipropileno (PP) apresentam excelente fluidez, características mecânicas, intempéries e resistência química, além de serem econômicos considerando os aspectos de custo. Tais compósitos são amplamente utilizados como importante matéria-prima especialmente em peças automotivas (NOMURA, 2000).

Assim, um número cada vez maior está sendo reciclados e reformados em peças novas. A maioria dos para-choques, no entanto, tem tinta aplicada superfície para melhorar a aparência e resistência às intempéries (NORIKO ET AL., 1996).

Conforme Fazenda (2005) “tinta é uma composição líquida que, depois de aplicada sobre uma superfície, passa por um processo de secagem ou cura e se transforma em um filme sólido, fino, aderente, impermeável e flexível”. O filme resultante do processo de secagem da tinta pode ser classificado de duas formas: camada termoplástica ou camada termofixa. A tinta como camada termoplástica sob altas temperaturas mantém sua integridade química. Já a camada

termofixa sofre alteração da sua composição química após a cura (WEISS, 1997). Um exemplo de camada termoplástica trata-se da tinta que sofre a secagem através da evaporação do solvente, ou seja, não ocorre reação química entre seus componentes. Já a camada termofixa representa, por exemplo, os esmaltes de secagem a estufa, ou seja, existe reação química através de catalisadores (FAZANO, 2002).

Destaca-se o revestimento por pintura, por ter entre outras características, a função anticorrosiva. Neste processo são aplicados produtos sobre a superfície que se pretende proteger. Dias (1997), descreve que a tinta age por barreira, servindo de anteparo para o meio ambiente em um processo físico, o qual deve ser o mais impermeável possível. As tintas de alta espessura têm como grande vantagem a economia de mão de obra, o qual o autor afirma poupar o equivalente a 8 demãos de tinta do tipo convencional. A impermeabilidade da camada de tinta tem extrema importância, pois dificulta a passagem de vapor de água e oxigênio.

Dentre as partes plásticas do automóvel, o para-choque é a peça que possui maior quantidade de plástico que passará pelo processo de pintura. O revestimento superficial de para-choques e outras peças plásticas é realizado através da pintura industrial, que pode ser dividida em 3 itens de igual importância: tinta, preparação de superfície e aplicação da tinta (FAZENDA, 2005).

Os Tratamentos de Superfície apresentam papel fundamental na prevenção da corrosão, aumentando a durabilidade e a vida útil dos metais, e promovem a melhor aderência da pintura que é o principal meio de proteção contra a corrosão formando uma camada não só protetora como também decorativa (CAMILO, 2011). Grande parte das indústrias automobilísticas utiliza o processo de fosfatização para o pré-tratamento das superfícies metálicas dos carros, este processo consegue atender às exigências do mercado para a proteção anticorrosão e para a aderência do filme de tinta aplicado por eletrodeposição (CAMILO, 2011).

O processo de pintura automotiva nas indústrias, descrito por Caroline e Carneiro (2022), constitui-se numa das etapas de produção de um veículo completo e pode ser resumido em 12 etapas:

- Tratamento de Superfície, formado por dez tanques que tem por finalidade limpar a superfície das carrocerias;
- Cataforese (KTL), que consiste em uma pintura por imersão;
- Estufas, que fazem a secagem e a cura do KTL;
- Massas Vedantes, que consiste na aplicação dos furos e pinos de fixação;
- Estufa de pré-cura da Massa Vedante, usada para secar a massa;

- Aplicação do Primer, usada para nivelar pequenas irregularidades superficiais existentes nas peças;
- Estufa de cura, usada para secar a camada de primer;
- Sistema de Seleção de Cores;
- Aplicação de Base Cor, que consiste em aplicar uma tinta que proporciona o aspecto relativo à cor do veículo;
- Estufa de pré-cura, usada para secar a tinta aplicada;
- Aplicação de Verniz, que proporcionará o aspecto relativo ao brilho da tinta no veículo;
- Estufas de Cura do Verniz - curar a camada de verniz aplicado.

É importante lembrar que os processos de pintura devem seguir as etapas descritas acima para se obter o resultado desejado, pois exige grande atenção pela sua exigência no mercado. Os profissionais envolvidos, deverão ter seus equipamentos qualificados e manutenção em dia. (JACINTO; COSTA 2021)

2.5 Medição De Pintura Automotiva

A pintura é um processo de revestimento que melhora a coesão do material e as propriedades da superfície das peças, além de agir como barreira contra corrosão, permeação ou difusão a partir da superfície. Atualmente é destacado que a robótica tem sido grande aliada da indústria automotiva no processo de pintura (TAUCITA; SANTOS; ALMEIDA, 2013).

Um sistema de pintura é geralmente composto por uma tinta primária ou de base (primer); uma tinta intermediária (pigmentada ou sólida) e uma tinta de acabamento (verniz de acabamento). As tintas não são completamente impermeáveis à umidade do ar. Neste sentido, a espessura do filme seco torna-se um fator altamente importante para um ambiente úmido saturado. Os sistemas completos de pintura devem ter máxima espessura e a mínima porosidade possível, preservando aderência junto ao substrato e entre demãos, assegurando a máxima impermeabilidade da pintura (VERGÉS, 2005).

O verniz precede a camada de tinta base, e é o último revestimento do processo de pintura. Responsável pela atratividade e brilho da cor da peça, o verniz possui várias outras propriedades importantes. A camada de verniz proporciona a peça resistência a inúmeros agentes agressivos, como, por exemplo: umidade; chuva ácida; sal nas estradas, pedras, altas e baixas temperaturas, e luz ultravioleta (UV). Depois da aplicação de verniz e o período de flash off uma aplicação

eletrostática automática, igual a realizada na tinta base, é repetida no verniz. A peça, com todas as camadas, é então aquecida em uma estufa para que haja a cura do verniz (FAZENDA, 2005). Jurgetz (1995) cita alguns dos requisitos demandados pela qualidade para o verniz: resistência à chuva-ácida, resistência a arranhões, aparência, capacidade de polimento.

O processo de pintura automotiva tem duas funções essenciais. A primeira delas está associada à aparência do produto. A segunda é proteger a estrutura metálica do carro contra corrosão. Juntamente com o design do carro, a pintura está, inevitavelmente, presente no primeiro contato do cliente com o produto. A partir da década de 1970 os clientes começaram a se tornar cada vez mais exigentes quanto à aparência dos seus veículos, e então a indústria de pintura automotiva teve que se adaptar a uma nova demanda (DALMOLIN; GONÇALVES; PACHEKOSH, 2013).

Para que os clientes tenham suas necessidades atendidas, o processo de fabricação do produto deve ter capacidade de atuar com uma baixa variabilidade em torno das dimensões alvo ou nominal das características de qualidade do produto. Desta forma, a adoção de métodos estatísticos para o controle e a melhoria da qualidade torna-se fundamental (LOMBARDI ET AL, 2011).

Quando a camada seca inspecionada for menor que a especificação, gera-se retrabalho, pois antes de completar a camada, as estruturas precisam ser todas lixadas para quebrar o brilho e proporcionar perfil de rugosidade e conseqüente aderência da tinta. As perdas por baixa camada seca são: custos de mão de obra para lixamento das estruturas; material empregado no lixamento; tempo perdido devido a não poder pintar lotes seguintes e atrasos de entrega. (LOMBARDI ET AL, 2011).

Quando a camada seca inspecionada for maior a especificada, tem-se perda financeira, pois, o cliente não pagará mais pela cobertura extra do substrato. A perda financeira acontece porque o tipo de tinta e a camada seca especificada geram os custos de pintura das estruturas, logo, quando o processo apresenta camada maior que a especificada, deposita-se mais tinta e este excesso não é pago pelos clientes. Desta maneira pode-se perceber a importância de reduzir a variabilidade no processo de pintura, atingindo a camada seca mais próximo possível da especificação dos clientes, nem com excessos e nem com falta de cobertura (LOMBARDI ET AL, 2011).

De acordo com as informações disponibilizadas pela KRAS ENGENHARIA (2021), uma empresa especializada em solução em engenharia, consultoria, inspeções e ensaios não destrutivos, a medição de espessura de tinta tem como função garantir a medida mínima e máxima da espessura da tinta de um determinado material, para situações em que a tinta tenha

uma função específica como proteger algum material seja de meios físicos como aquecimentos e pequenas abrasões e meios químicos que provocam corrosões. A medição de espessura de tinta é aplicada a camadas de tintas eletro-galvanizadas, sendo as tintas magnéticas ou não magnéticas, os equipamentos estão adequados para qualquer tipo de aplicação, sendo necessário a escolha do equipamento conforme aos requisitos específicos e normas de cada setor industrial individual.

Está exemplificado na Figura 7, um medidor de espessura de camada de tinta.

Figura 7: Medidor de Espessura de Camada de Tinta.



Fonte: GROUP WORK, (2022).

2.6 Gestão Da Qualidade

A gestão da qualidade tem como objetivos a padronização de processos e, por meio de planejamento, controle e aprimoramento, a garantia da qualidade de produtos e serviços. Segundo Srdoc, Sluga e Bratko (2005) e Lagrosen (2007) as empresas necessitam adotar um sistema que priorize a qualidade em suas decisões para que seja possível alcançar e manter a qualidade de seus processos, produtos e serviços.

Segundo Ganim (2003), a gestão de falhas de uma empresa está diretamente ligada ao incremento da produtividade, permitindo a adequada alocação dos recursos em busca de maior qualidade. Mello (2011) acrescenta que gerir a qualidade significa disseminá-la nas

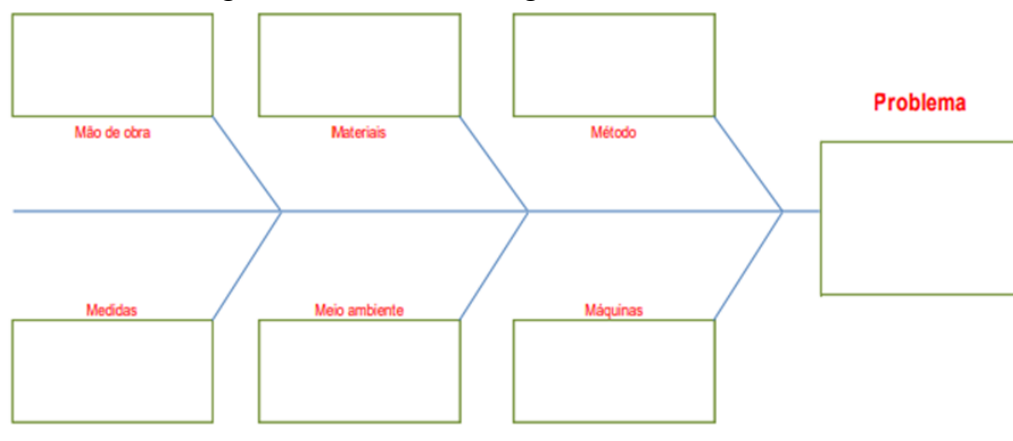
organizações, de modo que ela passe a fazer parte do modo de pensar de todos e não apenas do modo de fazer. E, para que isso aconteça, os profissionais da qualidade têm, à sua disposição, inúmeras ferramentas e programas. Neste contexto, surge a importância das ferramentas da qualidade, que, segundo Vieira (2012), são um conjunto de técnicas gráficas que permitem resolver boa parte dos problemas estatísticos que surgem no decorrer da análise de dados quando a intenção é manter a qualidade.

2.6.1 Diagrama de Ishikawa

Segundo Lobo (2019), o diagrama de Ishikawa ou diagrama de causa e efeito, também conhecido como espinha de peixe, foi desenvolvido para representar a relação entre o efeito e todas as possibilidades que podem contribuir para sua ocorrência. Deve-se listar as causas referentes ao problema ou efeito (colocado do lado direito do gráfico), esse diagrama ilustra de maneira objetiva as causas que afetam um processo bem como classificam as causas, principalmente, entre seis categorias conhecidas como 6 M's (máquina, mão de obra, método, manutenção, material e meio ambiente).

Slack et al (2002) define que devem existir quatro fases na montagem do diagrama de Ishikawa: a primeira deve ser a colocação do problema na caixa de efeito/problema; na segunda ocorre a identificação das principais categorias para as possíveis causas do problema; a terceira deverá ocorrer a busca de fatores em discussões de grupos que irão gerar possíveis causas para o problema realmente; e por último a quarta fase ou parte do processo, é o registro de todas as causas potenciais no diagrama, discutindo cada item e procurando esclarecimento das causas. Na figura 8, observa-se um exemplo de estrutura do diagrama de causa e efeito.

Figura 8: Estrutura do diagrama de causa e efeito.



Fonte: (PERI et al, 2015).

Segundo Ishikawa (1993) apud Fujimoto (2017), o diagrama de Ishikawa é uma das ferramentas da qualidade mais importantes no quesito de ações de melhoria contínua e controle da qualidade dentro de um estabelecimento, podendo com ele visualizar várias causas de problema dentro deste estabelecimento.

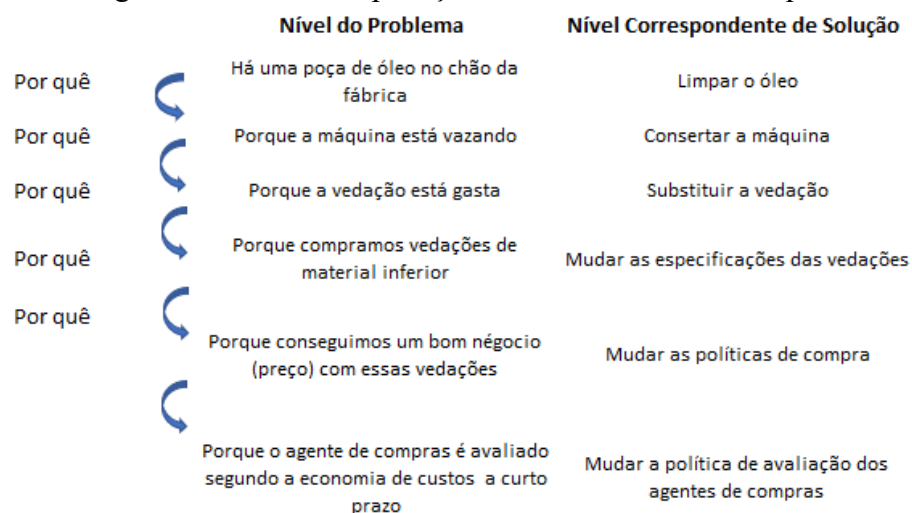
2.6.2 5 Porquês

A ferramenta dos 5 Porquês faz parte de um processo de análise e é bem intuitiva e como seu nome diz, visa encontrar as causas raízes de um problema ocorrido por meio da atividade de questionar o porquê de tais causas por cinco vezes. (UCZAI, 2021).

Taiichi Ohno enfatizava que a verdadeira solução de um problema requer a identificação de sua “raiz, e não de uma ‘fonte’; a raiz do problema encontra-se oculta para além da fonte”. Por exemplo, podemos descobrir que a fonte de um problema é um fornecedor ou um determinado centro de manufatura – o problema ocorre lá. Mas qual é a raiz do problema? A resposta é encontrada indo mais fundo e perguntando por que o problema ocorreu. Perguntar “por que” cinco vezes requer chegar à resposta do primeiro porquê e então perguntar por que aquilo ocorre. Normalmente, o processo de perguntar “por que” leva a um motivo mais distante no processo. Pode ser um defeito que ocorre na montagem, mas a raiz do problema está no fornecedor da matéria-prima, onde a variação na espessura ou na dureza do aço afeta o modo como a peça é prensada, o que então afeta a maneira como é soldada, o que, por sua vez, influencia na capacidade da presilha mantê-la no lugar (LIKER, 2015).

Na figura 9 há um exemplo de método de aplicação da ferramenta de 5 Porquês.

Figura 9: Método de aplicação da ferramenta de 5 Porquês.



Fonte: Adaptado de SCHOLTER (1998).

3. METODOLOGIA

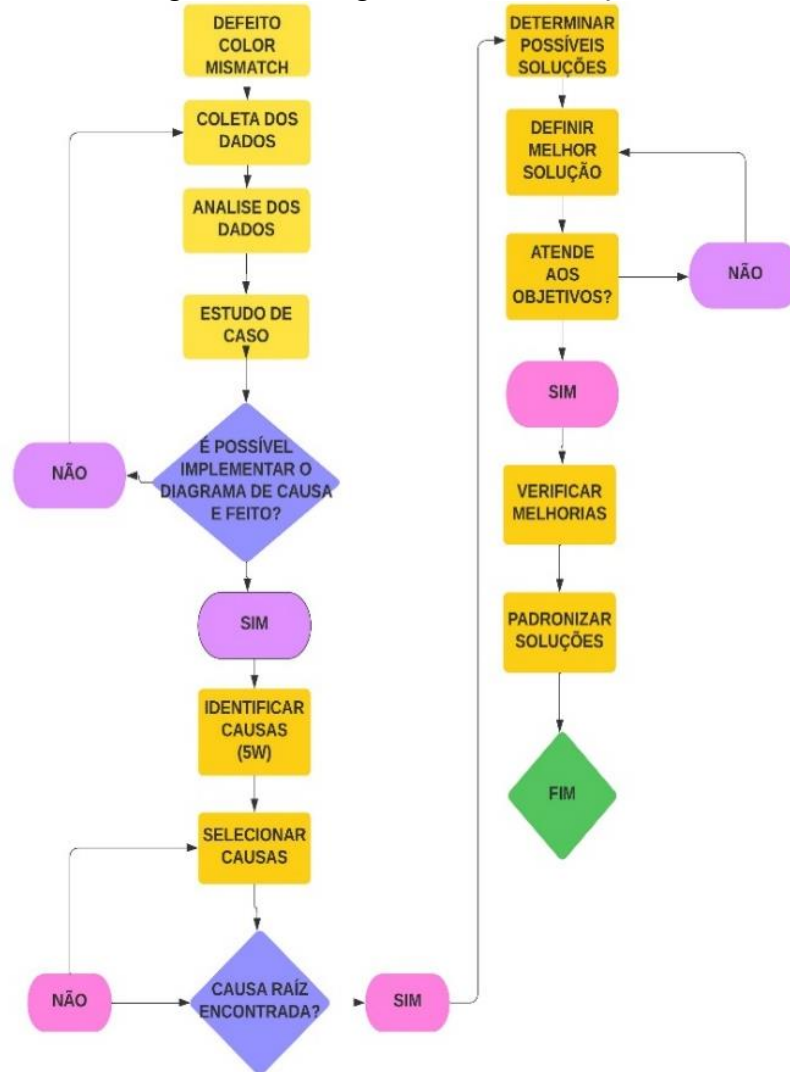
O trabalho em questão foi realizado uma multinacional fabricante de veículos, localizada na Região Sul Fluminense do estado do Rio de Janeiro. Sendo a área da engenharia de processos, responsável pelo estudo.

A cabine de pintura de para-choques é composta por cinco estações, sendo a cabine de base a única parcialmente automatizada no processo. Devido a esse fator, a aplicação da base é realizada manualmente por operadores, não havendo uniformidade na execução, desperdício de tinta durante a aplicabilidade e a ausência de um controle eficaz sobre esse processo, visto que, há variações na aplicação de base sobre o para-choque, se comparado operador por aplicação.

Um grande percentual de veículos, com parcelas significativas, produzidos pela empresa são afetados pela falha do *color mismatch*, havendo cerca de três quilos de camadas de tinta desperdiçados por para-choque.

Como forma de mapear as principais atividades realizadas, são apresentadas no fluxograma da Figura 10 as etapas seguidas para identificar a causa raiz do problema de divergência de tonalidade de cor. Pode-se observar, também, o procedimento tomado para execução da solução para o problema.

Figura 10: Fluxograma de identificação da causa raiz.



Fonte: Autor

Como forma de realizar o controle do problema do trabalho foi realizado um estudo de caso para implementação de robôs colaborativos na estação da cabine de base, visto ser um processo parcialmente manual e sem um controle efetivo. Também foi de interesse da equipe verificar a fundo todas as falhas geradas, assim como diagnósticos realizados nos veículos que apresentavam o problema em questão. Com posse dos dados, esses foram submetidos a análise e se mostraram aptos a automatização do processo. Portanto, com posse dos indicadores afetados pelo defeito *color mismatch* foram estabelecidos os objetivos para o projeto, divididos em itens de qualidade, custo, produtividade e padronização, conforme descrito abaixo:

- Qualidade - Eliminar perdas internas e impacto nos clientes devido aos defeitos de qualidade;
- Custo - Redução no consumo de material e custos com repintura relacionados aos problemas de tonalidade;
- Produtividade - Oportunidade de aumento de capacidade na cabine conforme estudo;
- Padronização – Padronizar o processo de base da cabine de pintura de para-choques.

Posto isso, o estudo foi submetido a ferramenta Diagrama de Ishikawa e 5W a fim de encontrar as causas raízes do problema. A partir das análises realizadas, com obtenção das causas raízes, chegou-se a um consenso de automatização do processo como a melhor solução, essa foi testada e definida como a melhor tratativa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Acompanhamento Inicial Do Projeto

O *Color Mismatch* é um defeito recorrente na organização. Os clientes que recebem o produto final, ou seja, o veículo, reportam a empresa sua insatisfação relacionada ao defeito e alegam futuramente não adquirirem mais a marca, devido ao defeito de tonalidade de cor no veículo. Visto isso, a primeira etapa de implementação do estudo de caso se deu a partir da definição da relevância do problema a ser estudado, com posse dos principais indicadores acerca das falhas e o levantamento dos principais processos potencialmente influenciadores do *color mismatch*.

A segunda etapa do estudo de caso compreendeu uma análise aprofundada acerca do problema encontrado e entender como o sistema estudado é realizado, a fim de elucidar todos os indicadores que são impactados pelas falhas. Para isso, foram representados graficamente os indicadores pertinentes aos problemas. A figura 11 pode-se ver a quantidade acumulada de perdas de para-choques mês a mês por divergência de tonalidade.

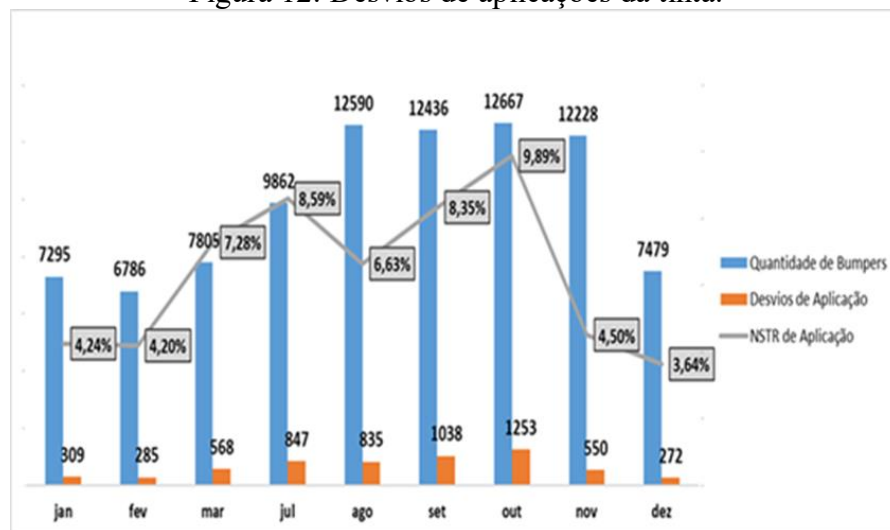
Figura 11: Perdas de para-choque por tonalidade de cor (NSTR).



Fonte: Empresa (2021).

Na figura 12 pode-se observar a quantidade de perdas relacionadas a quantidade de para-choques produzidos, desvios de aplicações da tinta e as perdas por tonalidade de cor (NSTR).

Figura 12: Desvios de aplicações da tinta.

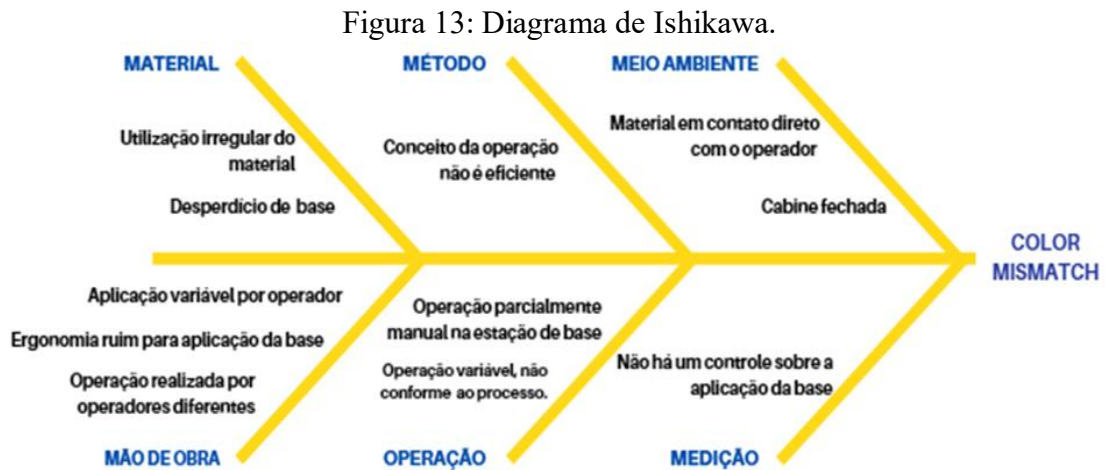


Fonte: Empresa, 2021.

4.1.1 Análise

Tendo por base os processos da cabine de pintura de para-choques, foram idealizadas ações para realizar a análise do problema através de levantamento de dados, análise de veículos falhados e acompanhamento dos processos relacionados. Com isso, foi possível determinar a potencial causa para o efeito da falha e foi encontrada uma grandeza de perturbação influente no problema, a estação da cabine de base.

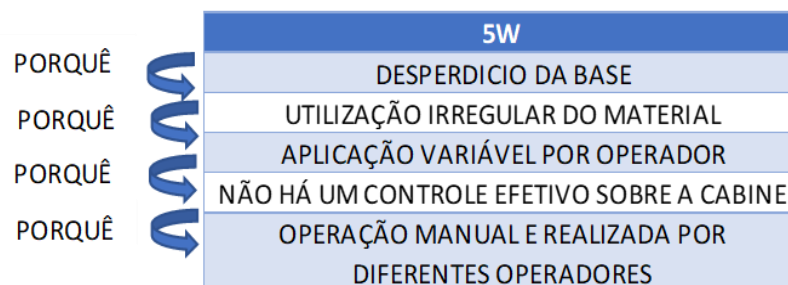
A figura 13 encontram-se os resultados da análise realizada conforme especificado na metodologia, onde se demonstra a utilização das ferramentas de Ishikawa e por conseguinte, a ferramenta 5W. Primeiro, foi elaborado o diagrama de Causa e Efeito, demonstrando todas as causas que geram a falha relacionada ao problema.



Fonte: Empresa, 2022.

Consequentemente, para os efeitos observados foi atribuído um 5 Porquês para determinar suas causas raízes. A figura 14 exemplifica o procedimento realizado no projeto. Sendo a causa da operação manual da cabine de base identificada pelo grupo responsável pelo trabalho como uma das mais significantes no processo de geração do problema referente a variação de camadas de tintas por veículos produzido.

Figura 14: Exemplo 5 PORQUES utilizado na análise.



Fonte: Empresa, 2022.

Na análise realizada foi acompanhado o processo da cabine de pintura, assim como o diagnóstico da falha. Testes realizados com a aplicação manual de base e por conseguinte, com a aplicação de robôs.

Com a aplicação manual, foi possível observar e medir uma grande quantidade de desperdício do material de base. Além disso, foi levado em consideração o parâmetro da camada de tinta entre os para-choques testados, que apresentavam diferença devido a divergência de aplicação da base realizado pelos operadores.

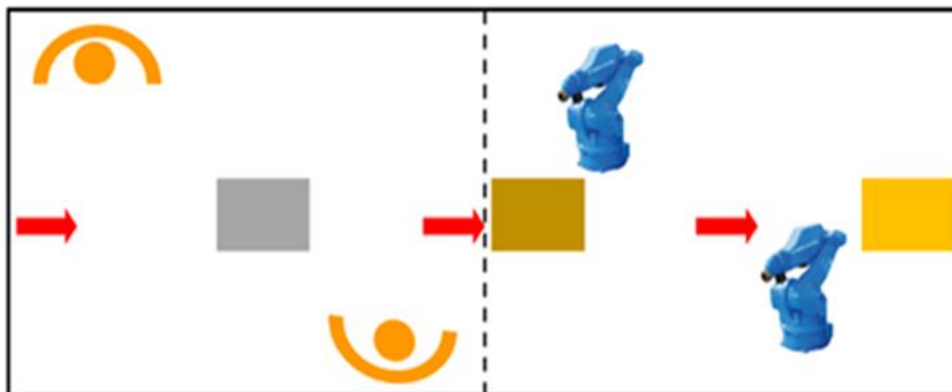
Por fim, o processo manual de aplicação de base, se mostra repetitivo e requer agilidade, sendo um possível potencializador de problemas ergonômicos relacionado ao operador.

4.1.2 Solução Proposta

Com a análise realizada, coube à equipe do projeto desenvolver ações corretivas para atacar o problema, que ficou definida como automatizar a estação da cabine de base, já que, era o único processo dentro da cabine de pintura onde não havia um controle efetivo, devido a aplicação ser parcialmente manual e efetuada por operadores.

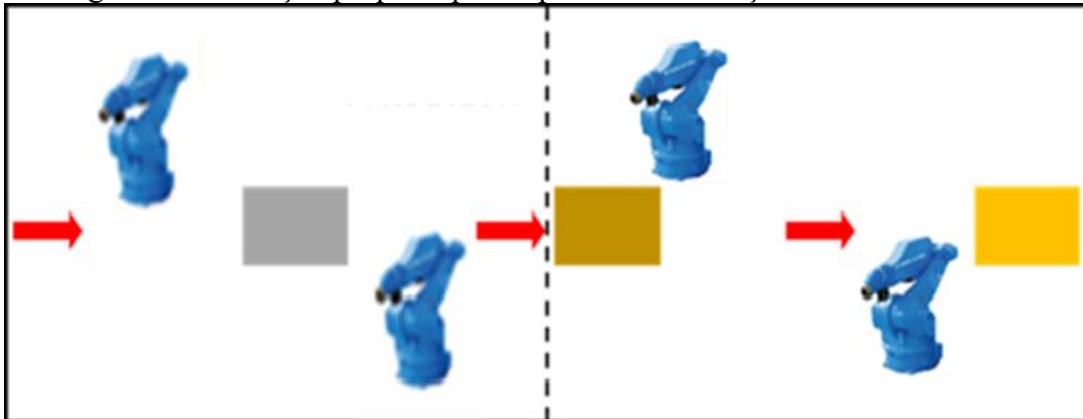
Com a automatização do processo e a implementação dos robôs colaborativos, será possível estabelecer um controle efetivo e também parâmetros de compatibilidade entre os robôs uniformizando a aplicação de base e evitando assim, possíveis divergências nas tonalidades de cor do para-choque. As figuras 15 e 16 destacam a contramedida proposta para o processo.

Figura 15: Processo atual da estação da cabine de base.



Fonte: Empresa, 2022.

Figura 16: Condição proposta para o processo da estação da cabine de base.



Fonte: Empresa, 2022.

4.1.3 Plano de Ação

Um dos itens do plano de ação consistiu em especificação de possíveis robôs para instalação na estação de cabine de base. Para isso, foram levados em consideração alguns requisitos e premissas, que podem ser observados na figura 17 abaixo.

Figura 17: Requisitos e Premissas para Instalação dos Robôs.

REQUISITOS E PREMISSAS
Sistema que garanta a qualidade das peças fabricadas;
Robôs e aplicadores de uma única marca/modelo em toda a estação de base;
Integração dos equipamentos atuais;
Atendimento aos parâmetros de processo;
Estudo dos materiais e equipamentos com o fornecedor de tintas;
Treinamento;
peças de reposição;

Fonte: Empresa, 2022.

Por conseguinte, pode ser observado na figura 18 abaixo, o plano de ação para implementação dos robôs no processo.

Figura 18: Plano de Ação.

ESPECIFICAÇÃO	SEMANA 49, 2021
OFERTAS	SEMANA 51, 2021
VALIDAÇÃO DAS OFERTAS	SEMANA 52, 2021
NEGOCIAÇÃO	SEMANA 02, 2022
ORDEM DE COMPRA	SEMANA 07, 2022
REUNIÃO INICIAL	SEMANA 08, 2022
APROVAÇÃO	SEMANA 13, 2022
ENTREGA DE MATERIAL	SEMANA 40, 2022
PREPARAÇÃO	SEMANA 49, 2022
INSTALAÇÃO	SEMANA 51, 2022
TESTE	SEMANA 01, 2023

Fonte: Empresa, 2022.

4.1.4 Resultados Econômicos

Os resultados a serem apresentados através aplicação automática da cabine de base podem ser observados pela fase de acompanhamento do projeto. Ao serem analisados, pode se estimar ganhos de qualidade consideráveis, além de modificações importantes nas operações relacionadas.

Esses ganhos podem ser observados na Tabela 1, sendo a eficiência no consumo de material estimada em um acréscimo de 42%, em comparação ao período anterior, ou seja, antes do projeto.

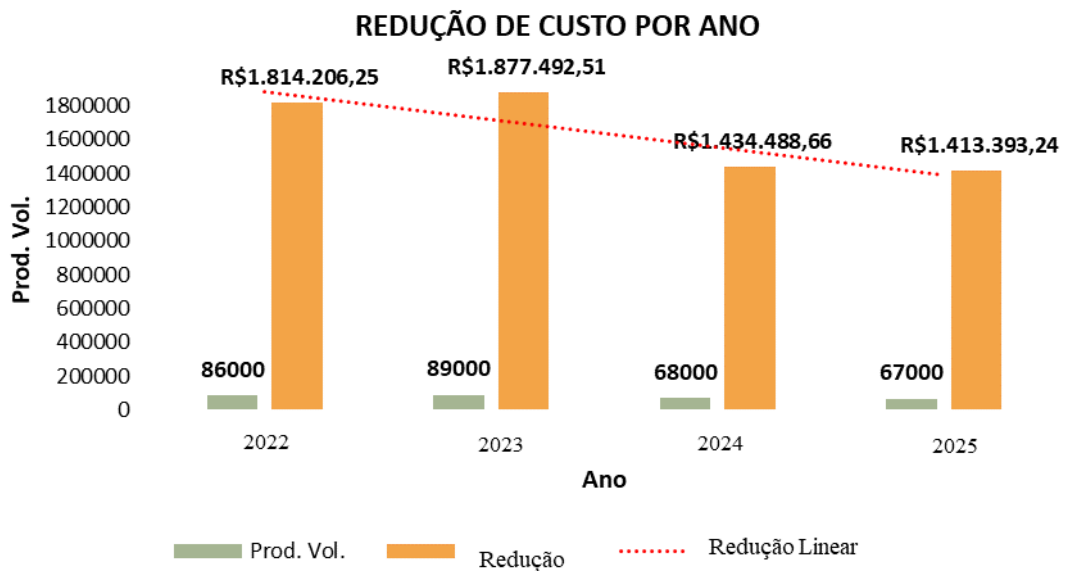
Tabela 1: Resultados da aplicação automática da cabine de base.

ITEM	COMENTÁRIO	CUSTO (M BRL/YEAR)
Redução de custo	Aumento da eficiência básica +42%	R\$ 1,50
Repintura	Redução de custo em tinta + Mascaramento	R\$ 0,28
Redução QAC (tinta branca perolada)	Atual: 30 Microns Automático 20 Microns	R\$ 0,34
Redução de custo do valor total		2,12 M BRL

Fonte: Elaborado pelos autores

Outro ganho potencial poderá ser observado na tendência de redução no custo por volume de veículo produzido, antes desperdiçado devido aos problemas referentes às falhas de *color mismatch*. Devido a implementação do projeto, estima-se uma economia de R\$ 362.000/ano relacionado as horas extras geradas para recuperação da produção devido a incompatibilidade de cores. Além disso, estima-se uma redução no custo do material em aproximadamente R\$ 2.000.000,00 por ano e por conseguinte, uma redução no custo de QAC (tinta branca perolada) na ordem de 34%, tendo como estimativa, uma nova média de R\$ 3,67 mil, gastos por veículos produzidos. Na Figura 19 podem ser observadas as estimativas de incidências de redução de custo por volume de produção em um período anual.

Figura 19: Tendência de redução no custo por volume de veículo produzido.



Fonte: Empresa, 2022.

Vale destacar a estimativa de melhoria dos resultados apresentados pelas ações realizadas, visto que é possível observar através da margem de tempo o comportamento das ações tomadas, como se comportam e geram resultados.

5. CONCLUSÕES

Através das estimativas apresentados pelo projeto, pode-se concluir que os objetivos foram alcançados. Estima-se resultados com redução satisfatória nos desperdícios apresentados na empresa, principalmente em relação a redução no consumo de material e custos com repintura relacionados aos problemas de tonalidade.

Além disso, estima-se uma redução significativa do impacto ambiental, pois os recursos naturais, econômicos, humanos e técnicos serão utilizados de forma mais racional, com uma maior transparência na destinação de resíduos sólidos.

Por conseguinte, a organização tende a melhorar a visão de sua marca pela ótica do cliente com a redução de reportes de defeitos de qualidade pelo *Color Mismatch* feitos pelos clientes durante os três primeiros meses após a aquisição do automóvel.

Estima-se uma redução na média de repintura, imediatamente após as ações tomadas, na ordem de 42%. Além disso, a média na eficiência de aplicação da tinta antes em 60%, devido ao desperdício de aplicação de base, deve atingir o percentual de 85% com a implementação dos robôs colaborativos devido a uma aplicação mais uniforme e uma utilização regular do material utilizado.

A automatização do processo da cabine de pintura possibilita um controle efetivo do processo, reduzindo os impactos relacionados ao *color mismatch*. Em termos econômicos, considerando a quantidade de veículos produzidos e seus custos, estima-se uma redução anual em aproximadamente R\$2.000.000,00, frente ao custo devido a repintura.

Os resultados apresentados por meio de ferramentas de qualidade associadas ao diagrama de Ishikawa e o 5W se mostraram satisfatórios, permitindo a compreensão e resolução do problema atingindo os objetivos propostos com ganhos diretos e paralelos ao problema estudado, tendo em vista que as causas raízes foram definidas satisfatoriamente.

Em síntese, o conhecimento proporcionado pelo projeto realizado possibilitou medidas assertivas, possibilitando uma redução significativa de custos relacionados a repintura, desperdícios no consumo de material e oportunidade de aumento de capacidade na cabine, confirmando o atingimento pleno dos objetivos do projeto.

6. INDICAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O estudo de caso efetuado contribuiu para uma ótica compreensiva em relação aos defeitos de qualidade atribuídas ao *color mismatch*. Como sugestões para trabalhos futuros, tornam-se plausíveis para uma melhor exploração do tema, conduzir estudos comparativos após a implementação dos robôs colaborativos, a fim de verificar os resultados estimados pelo presente trabalho e compará-los com os reais resultados obtidos pelo projeto de implementação.

Além disso, sugere-se que a organização desenvolva estratégias, ações e políticas que tenham como objetivo a adequação de novos perfis de trabalhadores e postos diante deste novo cenário. Dessa forma, se torna possível que os colaboradores responsáveis pela aplicação manual, recebam treinamentos e capacitação para atendimentos de novas demandas e sejam remanejados em outras atividades pertinentes ao processo de forma que demissões não sejam necessárias.

Internamente, o estudo de caso pode servir de parâmetro para outros projetos e somar para que os objetivos determinados pela gerência da organização sejam alcançados.

REFERÊNCIAS

ACCORSI, A. et al. **Indústria 4.0: impactos sociais e profissionais**. São Paulo: Blucher, 2021.

ANDERSSON, S; GRANLUND, A; HEDELIND, M; E BRUCH, J. Explorando as capacidades das aplicações de robôs colaborativos industriais, 2020.

ARBOLEDA, SA; M. PASCHER, Y. LAKHNATI E J. GERKEN. Entendendo a Colaboração Humano-Robô para Pessoas com Deficiências de Mobilidade no Local de Trabalho, uma Análise Temática", **29ª Conferência Internacional IEEE sobre Robô e Interação Humana Comunicação (RO-MAN)**, 2020, p. 561-566.

BERX, N; DECRÉ, W; PINTELON, L. Examinando o papel da segurança na baixa taxa de adoção de robôs colaborativos. **Procedia CIRP: 9th CIRP Conference on Assembly Technology and Systems**, [s. l.], v. 106, p. 51-57, 2022.

BOSCHETTI, et al. A influência das estratégias de prevenção de colisões em sistemas colaborativos humano-robô. **IFAC PapersOnLine**, [s. l.], v. 55, ed. 2, p. 301-306, 2022.

CAMILO, D. M. **Avaliação dos Parâmetros de Processo de Fosfatização Tricatiônica**. Lorena, 2011. Monografia para Graduação em Engenharia Química. Escola de engenharia de Lorena.

CAROLINE, K; CARNEIRO, L; "O Impacto do Uso da Nanotecnologia no Tratamento de Superfície em Indústria Automotiva", p. 173-182 _ In: **Anais do XXIX Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva** . São Paulo: Blucher, 2022 ISSN 2357-7592, DOI 10.5151/simea2022-PAP32.

DALMOLIN, C; GONÇALVES, F.F; PACHEKOSK, W.M. **Avaliação da remoção da camada primer num processo de pintura automotiva, efeitos econômicos e impactos ambientais**. Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria. Revista Eletronica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGETEISSN 2236 1170 - v. 15 n. 15 Out. 2013, p. 3045- 3054.

DIAS, L. **Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem**. São Paulo: Zigurate Editora, 1997.

FAST-BERGLUND, Â; PALMKVIST, F; NYQVIST, P; EKERED, S; ÅKERMAN, M. Avaliando Cobots para Montagem Final, **Procedia CIRP**, vol. 44, pág. 175- 180, 2016.

FAZANO, C. A T. V. Tintas: Método de controle de pinturas e superfícies. **Editora Hemus**. 6ª edição. Curitiba-PR. 2002.

FAZENDA, J. M. R. TINTAS & VERNIZES – Ciência e Tecnologia. 3ª Edição. **Editora Edgard Blucher**. 2005.

GAO, Z; WANYAMA, T; SINGH, I; GADHRI, A; SCHMIDT, R. Da Indústria 4.0 à Robótica 4.0 - Uma Estrutura Conceitual para Sistemas Robóticos Colaborativos e Inteligentes. **Fabricação Procedia: 13th International Conference Interdisciplinarity in Engineering (INTER-ENG 2019)**, [s. l.], v. 46, p. 591-599, 2020.

GUALTIERI, L; FRABONI, F; DE MARCHI, M; RAUCH, E. Desenvolvimento e avaliação de diretrizes de design para ergonomia cognitiva em sistemas de montagem colaborativos humano-robô. **Ergonomia Aplicada**, [s. l.], v. 104, Outubro 2022.

GUALTIERI, L, MONIZZA, GP; RAUCH, E; VIDONI, R E MATT DT. Do Design para Montagem ao Design para Montagem Colaborativa - Princípios de Design de Produto para Melhorar a Segurança, Ergonomia e Eficiência na Colaboração Humano-Robô, **Procedia CIRP**, vol.91, p. 546-552, 2020.

HANNA, A; BENGTSOON, K; GÖTVALL PL, E EKSTRÖM, M. Para a colaboração segura de robôs humanos - Avaliação de risco de automação inteligente, em 2020 **25ª Conferência Internacional IEEE sobre Tecnologias Emergentes e Automação de Fábrica (ETF)**, 8-11 set. 2020, vol. 1, págs. 424-431.

ISO 12100:2010 Segurança do maquinário — Princípios gerais para o design - Avaliação de risco e redução de risco, I. O. f. S. (ISO), 2010.

JACINTO, K; COSTA, L. **O Impacto Do Uso Da Nanotecnologia No Tratamento De Superfície Em Uma Indústria Automotiva**. Orientador: Msc. Anderson Elias Furtado. 2021. 61 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Associação Educacional Dom Bosco, Faculdade De Engenharia De Resende (Fer), Resende, 2021.

JAVOID, M; HALEEM, A; SINGH, R. P; SUMAN, R. Capacidades substanciais da robótica para melhorar a implementação da indústria 4.0. **Robótica Cognitiva**, [s. l.], v. 1, p. 58-75, 2021.

JURGETZ, A. Automotive Paint Performance. **Metal Finishing**. Dingolfing-Alemanha. p. 53-55, 1995.

KENT, M; KOPACEK, P. Adoção da Robótica Colaborativa na Indústria 5.0. Um estudo de caso da indústria irlandesa. **IFAC-PapersOnLine: 20ª Conferência IFAC sobre Tecnologia, Cultura e Estabilidade Internacional TECIS 2021**, Moscou, Federação Russa, v. 54, ed. 13, p. 413-418, 2021.

KRAS ENGENHARIA, 2021. Disponível em: Medição de Espessura de Tinta, Medição de Camada (krasinspecao.com.br)

LOMBARDI, T; MAYER, P; MACIEL, A. Análise estatística da camada seca de pintura industrial: nova JVA. **Prospectiva**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 21-29, 2011.

MARATIC, M. J. **Introdução à robótica**. São Paulo: Editora Unesp, 2014.

MARTENS, M. L; VIDO, M; LUCATO, W. C. O robô colaborativo na indústria 4.0: conceitos para a interação humano-robô em um posto de trabalho: Human robot collaboration. **ENEGEP 2019 - Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Enegep, 11 jun. 2019.

NISE, N. S. **Engenharia de sistemas de controle**. São Paulo: LTC, 2017.

NOMURA, M. Carros de automóveis. **Materiais compostos abrangentes**, [s. l.], v. 6, p. 365-373, 2000.

NORIKO, O; TOSHIMITSU, S; NAOKATA, Y; NOBUO, Y. Um Estudo Da Tecnologia De Reciclagem Para Para-Choques Automotivos De Plástico Revestidos De Tinta. **Revisão do JSAE**, [s. l.], v. 17, ed. 4, p. 414-416, 1996.

PETROODI, E. H; THEVENIN, S; KOVALEV, S; DOLGUI, A. Operations management issues in design and control of hybrid human-robot collaborative manufacturing systems: a survey. **Annual Reviews in Control**, v. 49, p. 264-276, 11 abr. 2020.

PIRES, J. N. **Robótica industrial**. São Paulo: Lidel, 2020.

PRASSIDA, G. F; ASFARI, U. Um modelo conceitual para a aceitação de robôs colaborativos na indústria 5.0. **Procedia Ciência da Computação: Sexta Conferência Internacional de Sistemas de Informação (ISICO 2021)**, [s. l.], v. 197, p. 61-67, 2022.

REALYVÁSQUEZ, A; SOTO, K; ALCARAZ, J; LOBATO, B; GARCIA, J. **Introdução e configuração de um robô colaborativo em uma tarefa de montagem como um meio de diminuir os riscos ocupacionais e aumentar a eficiência em uma empresa de fabricação Robótica e Fabricação Integrada por Computador**, v. 57, p. 315-328, 2019.

ROCHA, S. A. **Indústria 4.0: entenda seus conceitos e fundamentos**. 2020. Disponível em: <www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/industria-4-0/>. Acesso em: 15 jul. 2022.

RUIZ, R. C; RAMÍREZ, A. J; CUARESMA, M. J. E; ENRÍQUEZ, J. G. Hibridizando humanos e robôs: Um horizonte de RPA previsto nas trincheiras. **Computadores na Indústria**, [s. l.], v. 138, Junho 2022.

SACOMANO, J. B. **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. São Paulo: Editora Blucher, 2020.

SANCHEZ, S. M.; SANCHEZ, P. J.; RAMBERG, J. S.; MOEENI, F. Effective Engineering Design through Simulation. **International Transactions in Operational Research**, University of Missouri - USA, Volume 3, Issue 2, Pages 169-185, April 1996.

SANTOS, M. et al. **Indústria 4.0: desafios e oportunidades para o Brasil**. 2018. Disponível em: <www.ri.ufs.br/bitstream/riufs/10423/2/Industria_4_0.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2022.

SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2018.

SEGURA, P; CALEROS, O; SERRANO, A; MARTÍNEZ, E. Garantia de segurança em sistemas colaborativos humano-robô: Uma pesquisa na indústria de manufatura. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 107, p. 740-745, 2022.

SEGURA, P; CALLEROS, O. ; SERRANO, A; SORIA, I. Sistemas colaborativos humanos-robôs: componentes estruturais para aplicações de fabricação atuais. **Avanços na Engenharia Industrial e De Manufatura**, [s. l.], v. 3, novembro 2021.

SELEME, R.; STADLER, H. **Controle da qualidade: As Ferramentas Essenciais**. Curitiba - PR: InterSaberes, 2012.

SILVA, D. C. S., & CORREIA, A. M. M. (2021, out./dez.). Análise das falhas no serviço de manutenção de uma petroquímica por meio das ferramentas da qualidade. *Exacta*. 19(4), 817-842.

SILVA, P; NASCIMENTO, M. Diagrama de Ishikawa e técnicas de planejamento e controle da produção em uma empresa varejista do setor têxtil em Marabá-PA. **VI Encontro Paraense de Engenharia de Produção: Perspectivas do Engenheiro de Produção Paraense: mercado de trabalho x educação continuada**, [s. l.], 2015.

SOARES, R; LUCATO, A. V. R. Robótica colaborativa na indústria 4.0, sua importância e desafio. **Interface Tecnológica**, Araraquara –São Paulo –Brasil, v. 18, n. 2, p. 747-759, 30 dez. 2021.

SOARES, V. **Aplicação e Implantação do Controle Estatístico de Processo em Pintura Industrial**. 2003. 114 p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2003.

SOUZA, E. **Entenda sobre a indústria 4.0: a quarta revolução industrial que estamos vivendo hoje**. São Paulo: Amazon, 2020.

TAUCITA, F. de M.; SANTOS, Pâmela M. de S.; ALMEIDA, V. **Presença de Robôs de Pintura na Indústria Automotiva**. Resende, 2013. Monografia Engenharia de Produção Automotiva.

UCZAI, J. V. **Aplicação Da Metodologia A3 Na Solução De Problemas Estudo De Caso Sobre Falhas No Sistema De Injeção De Motores Diesel**. 2021. 40 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia de Resende, [S. l.], 2021.

VERGÉS, G. R. **Estudo do desempenho de sistemas de pintura para materiais das redes de distribuição de energia elétrica situadas em regiões litorâneas**. Curitiba, 2005.

Dissertação para o Curso de Pós-Graduação em Engenharia, Área de Concentração em Engenharia e Ciências dos Materiais, da Universidade Federal do Paraná.

VIANA, C; MIRANDA, R; COSTA, S. Otimização dos parâmetros de pintura com múltiplas respostas: um estudo em problemas de pintura em anéis automotivos. **Produção em Foco Artigo**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 51-81, 2014.

WEISS, K. D. Paint and Coatings: A mature industry in transition. **Progress in Polymer Science**. Russel J. Gray Technogical Center. Minneapolis-Estados Unidos. v.22. p.203-245. 1997.