



REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA
FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

**DESAFIOS NO PLANEJAMENTO DE IMPLEMENTAÇÃO DE ROBÔS COLABORATIVOS
NOS PROCESSOS PRODUTIVOS INDUSTRIAIS.**

**CHALLENGES IN PLANNING THE IMPLEMENTATION OF COLLABORATIVE ROBOTS IN
INDUSTRIAL PRODUCTS PROCESSES.**

Pâmela Monteiro de Moraes^{1, i}
Ricardo Martinez Vicentini^{2, ii}
Murilo Torres de Oliveira^{3, iii}
Vicente Gomes de Oliveira Junior^{4, iv}

Data de submissão: (24/11/2022) Data de aprovação: (16/12/2022)

RESUMO

A Robótica Industrial tem sido um processo gradativamente mais comum nas empresas, dos mais variados segmentos. Entretanto, nacionalmente, os robôs colaborativos (Cobots) têm sido pouco explorados. A quarta revolução industrial, com um de seus pilares fundamentados em Robótica Avançada, possibilita cada vez mais a ampliação dos Cobots em suas aplicações. Com a expansão das tecnologias, é importante salientar sobre a utilização com segurança, eficiência, versatilidade e produtividade, sendo esses os principais objetivos a serem justificados através de recursos disponíveis no mercado e utilizados em algumas áreas. Frente ao exposto, este trabalho, tem como finalidade analisar aplicações, viabilidade e normas de segurança onde existem Robôs Colaborativos. O método escolhido para o estudo realizado foi o qualitativo, resultando em ampliar o significado de Robôs Colaborativos, transparecer métodos de trabalhos seguros, sugerir uma nova tecnologia de transformação e apresentação de processos e resultados reais aplicados usando Robôs Colaboradores.

Palavras-chave: Robótica; Robô Colaborativo; Indústria 4.0; Segurança.

¹ Pós-graduanda em Indústria 4.0 na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: mmoraespamela@outlook.com

² Mestre em Engenharia Elétrica. Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: ricardo.vicentini@sp.senai.br

³ Especialista em Engenharia de Controle e Automação. Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: murilo.torres@sp.senai.br

⁴ Mestre em Engenharia Mecânica. Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: vgomes@sp.senai.br

ABSTRACT

Industrial Robotics has been a process gradually more common in companies, from the most varied segments. However, nationally, collaborative robots (Cobots) have been little explored. The fourth industrial revolution, with one of its pillars based on Advanced Robotics, increasingly enables the expansion of Cobots in their applications. With the expansion of technologies, it is important to emphasize the use with safety, efficiency, versatility and productivity, these being the main objectives to be justified through resources available in the market and used in some areas. In view of the above, this work aims to analyze applications, feasibility and safety standards Where there are Collaborating Robots. The method chosen for the study was qualitative, resulting in expanding the meaning of Collaborative Robots, showing safe working methods, suggesting a new transformation technology and presenting real processes and results applied using Collaborative Robots.

Keywords: Robotic; Collaborative Robot; Industry 4.0; Security.

1 INTRODUÇÃO

Com a ascendência da 4ª Revolução Industrial, os processos exigem ser extremamente mais produtivos, assertivos, qualificados e otimizados. A robótica, embora seja característica da terceira revolução, foi um grande marco dentro da automação industrial que possibilitou que mecanismos (robôs) trouxessem rapidez e eficiência às indústrias. Entretanto, sabe-se que certas atividades dentro de um sistema produtivo, a mão de obra humana é indispensável, notabilizou-se a necessidade de integrar robôs aos humanos no meio da cadeia produtiva trazendo espaço aos Cobots (*Collaborative Robots* – Robôs Colaborativos).

Cobots são robôs industriais capazes de trabalharem em tarefas repetitivas e não ergonômicas (responsáveis por grande parte dos afastamentos e doenças ocupacionais), trazendo melhoria e qualidade de vida ao trabalhador, livrando de repetitividade em suas tarefas, lesões, desgastes e condições físicas e psicológicas irreversíveis (VIEIRA JUNIOR et al., 2019).

São projetados para atuarem junto aos operadores de forma segura, tendo como características, sistemas de detecção de colisão e força, programação simplificada e interação intuitiva (ROMERO et al., 2016, tradução nossa). A possibilidade da combinação de trabalhos que necessitam de contribuição do operador, com precisão e alta qualidade em realizações de tarefas, chamados trabalhos híbridos, diferenciados pelo compartilhamento da área de trabalho, sem necessidade de barreiras físicas de segurança, mas que viabilizem e assegurem a integridade física humana, devem conter sistemas que certifiquem sua parada imediata caso haja o contato ou a presença do operador dentro do seu espaço de trabalho, evitando danos, colisões ou ferimentos graves e fatais (VIEIRA JUNIOR et al., 2019)

Em destaque, as atividades colaborativas realizadas com robôs, diferem no intuito de oferecer um melhor aproveitamento dos colaboradores, em tarefas com maior complexidade que requerem uma maior atenção cognitiva do ser humano, também podendo capacitá-los em novas habilidades e execuções buscando alcançar oportunidades futuras dispostas pela indústria 4.0 (ROMERO et al., 2016, tradução nossa).

Concomitante as demais tecnologias da atual revolução tecnológica, a Robótica Colaborativa traz espaço para execuções mais competitivas, que tragam segurança dentro do estabelecido pelas normas regulamentadoras, possuindo viabilidades de resoluções mais

econômicas, compactas e diminuição das consequências geradas pelos trabalhos nocivos à saúde, justificados através de revisão bibliográfica por meio deste trabalho.

2 ROBÔ COLABORATIVO

Segundo a ISO 8373:2021 (*International Organization for Standardization*) robô é um mecanismo acionado programável em dois ou mais eixos, com um grau de autonomia, movendo-se dentro de seu ambiente para realizar tarefas continuamente. Utilizados em diversos ramos dentro do mercado de trabalho, sendo alguns deles, tecnologias espaciais, medicina, biomedicina, operações militares, entretenimento, fisioterapia, residências, comércios e indústrias.

Os robôs colaborativos, popularmente chamados de Cobots, são máquinas que vieram revolucionar e acompanhar o avanço tecnológico desta Era, foram inventados por J. Edward Colgate e Michael Peshkin, na Northwestern University em Evanston, Illinois. De acordo com Brent Gillespie, Colgate & Peshkin (2001, tradução nossa), a criação do Cobot veio a fim de diminuir a lacuna entre o trabalho manual e o trabalho automatizado, realizando tarefas que contribuem para alcançar a máxima eficiência de um robô e a flexibilidade do trabalho humano.

Vieram possibilitar a interligação com humanos para ambientes cooperativos, compartilhados ou coexistentes, com classificações e aplicações diversas, auxiliando o ser humano sem a necessidade de barreiras físicas, não sendo preciso à substituição da mão de obra do ser humano, mas têm o intuito de aprimorá-la.

Dentre os requisitos estabelecidos pela NBR ISO 10218:2018, dentre operações colaborativas, destacam-se 4 modos, Vido et al. (2021, tradução nossa), sendo subdivididos em “parada monitorada com classificação de segurança”, guia de mão, monitoramento de velocidade, separação, limitação de força e potência por projeto ou controle inerente, que serão detalhados mais adiante.

Existem algumas categorias de robôs colaborativos, porém os mais usuais nos processos industriais são: manipulação, montagem, atividades coordenadas e testes.

2.1 Distinções entre robô colaborativo e robô industrial

É natural que existam debates e por vezes, dúvidas sobre as diferenças entre os dois tipos de robôs, no entanto, é necessário entender as singularidades de cada um para que sejam projetados de forma adequada para seu aproveitamento ideal.

Robôs Industriais são projetados para locais em que se deseja aumentar o nível de agilidade do processo, ampliar a produção em um menor intervalo de tempo, manuseio de cargas maiores e mais pesadas, não sendo necessária a supervisão de humanos no processo, no entanto, há a tendência de programação mais estrita e complexa, com necessidade de técnicos e/ou especialistas para realizarem sua programação e manutenção.

Ideal para atividades menos complexas, é vital a disponibilidade de espaço para sua disposição e adequação de itens de segurança apresentados em conformidade com as normas. São ideais para substituição e execuções de repetitividade realizadas por operadores.

De acordo com Marques, Carrijo, Morais & (2020), os Robôs Colaborativos, diferente dos Robôs Industriais, possibilitam o trabalho junto com humanos, podendo aliar a capacidade cognitiva e a tomada de decisões com a agilidade e eficiência de um robô, sem necessidade de enclausuramento da sua área de atuação e sem grandes necessidades de alterações em

seu ambiente físico, realizam atividades com maior grau de complexidade, uma programação mais intuitiva e simplificada, muitas vezes acessíveis e administradas pelos próprios operadores e valor de comercialização menor comparado à instalação de um Robô Convencional. Em contrapartida, sua velocidade de trabalho e capacidade de carga são reduzidas, há a necessidade de um projeto bem estudado e estabelecido nas questões de segurança e a revisão e a atualização das normas brasileiras para adaptação dos Cobots.

3 A SEGURANÇA NO AMBIENTE COLABORATIVO

Assim como prescrito por Sordan et al. (2019), temas relacionados a segurança na operação de robôs colaborativos são constantemente evidenciados em pesquisas científicas. Dentre os assuntos em destaque, estão a proximidade dos operadores para diminuir a probabilidade de acontecerem colisões, o reconhecimento e diferenciação de materiais e humanos, a velocidade e o monitoramento de distanciamento dos operadores.

Através do estudo realizado por Lasota & Shah (2015, tradução nossa) foi desenvolvido um sistema que consegue por meio de experimentos avaliar a resposta humana no trabalho conjunto. A tarefa executada consiste na colocação de parafusos realizada por humanos e em seguida a aplicação do selante, realizada por um robô, as duas tarefas foram executadas pelas mesmas pessoas. Ele utiliza o método convencional e o *Human-Aware Motion Planning* ou Planejamento de Movimento Humano, técnica que tenta prever a ação do operador para redirecionar os movimentos do robô a fim de evitar conflitos de movimentos. Arai, Kato & Fujita (2010, tradução nossa) afirmam que a velocidade de separação, distância de separação e previsibilidade de movimentação do robô influenciam sobre a tensão colaborador-humano.

Após a realização dos experimentos, os resultados obtidos descritos após a análise e por meio de questionário aplicados em uma segunda fase, apontam que o trabalho realizado no método de Planejamento de Movimento permitiu que os humanos se sentissem mais confortáveis e seguros, desempenhando a atividade de forma mais ágil, com movimentos mais simultâneos e uma distância de separação maior comparado ao trabalho do robô padrão, mostrando a relevância da primeira técnica na satisfação e bem estar das pessoas envolvidas no experimento, tornando-a assim uma ferramenta desejável para melhorar o trabalho colaborativo.

Conforme definido por Platbrood & Görnemann (2011, tradução nossa), outros itens importantes para melhor assegurar a operação colaborativa podem ter, limitação de forças, utilização materiais para absorver energia, superfícies arredondadas do robô, peças de proteção com maior sensibilidade a pressões externas, limitação de potência, além de uma avaliação de riscos total da máquina ou equipamento.

A importância da preparação de uma avaliação de riscos com senso crítico, pode auxiliar a evidenciar melhor situações que disponham riscos, sendo assim, uma forma de prevenção para diminuir ou anular a possibilidade de acontecerem acidentes. Outro aspecto, evidenciado por (Gomes, et al., 2018) relata sobre a avaliação psicológica do colaborador que tem parte de influência em uma colaboração segura, e por meio de um experimento realizado, percebeu a necessidade de o operador sentir-se seguro e confortável, o resultado do experimento aponta que a aplicação de treinamento influencia na sua confiabilidade e nível de estresse, impactando no seu desempenho, uma medida de segurança cabível e que também contribui para aumentar a segurança.

De acordo com o padrão da norma de segurança NBR ISO 10218:2018 e a especificação técnica ISO/TS 15066:2016, a força e velocidade são monitoradas baseadas nas aplicações, áreas de contato humano e riscos de espaço de trabalho.

Para Hajdu et al. (2020, tradução nossa). um recurso relevante construído dentro dos pilares da indústria 4.0 que é útil para predição de situações dos processos é o investimento em simulação, que agrega para antecipar possíveis situações de riscos no ambiente virtual antes de serem projetados para o ambiente físico, possibilitando enxergar riscos de maneira mais próxima a real, sem colocar em risco a segurança humana.

A simulação é uma ferramenta gráfica (software) que é utilizada através do modelamento, é a representação de parte ou todo o processo promovendo a visualização e detalhamento prévio mais próximo do real.

Por ora, a simulação virtual tem impactos, citados na pesquisa como aumento de produção, qualidade, compreensão e facilidade na tomada de decisão dos gestores de manufatura, afirmando que a partir da opção da função de simulação, aconselha-se verificar o custo benefício, destacando o custo final do produto, benefícios alcançáveis e não alcançáveis, capital, nível de tecnologia, treinamento, educação, flexibilidade e adaptação do sistema como um todo, uma vez que esta escolha provavelmente demande custos maiores.

3.1 Normas regulamentadoras brasileiras sobre ambientes colaborativos

As principais normas brasileiras que abrangem os robôs colaborativos e operações colaborativas no Brasil são:

A NR-12, em sua totalidade, cabível nestas aplicações, sendo essencial e exigida uma análise de risco para garantir a segurança no ambiente colaborativo. Inclusive, no item 12.1.12, ela destaca que:

Os sistemas robóticos que obedeçam às prescrições das normas ABNT ISO 10218-1, ABNT ISO 10218-2, da ISO/TS 15066 e demais normas técnicas oficiais ou, na ausência ou omissão destas, nas normas internacionais aplicáveis, estão em conformidade com os requisitos de segurança previstos nessa NR (NR-12, 2022).

A NBR ISO 10218-1, estabelece e descreve requisitos relacionados aos robôs e a NBR ISO 10218-2 para “sistemas de robô e integração”.

A ISO/TS 15066, conforme mencionada acima, que define os modos de operações colaborativas, de forma que assegure o trabalhador para trabalhar sem riscos de trabalho, através de definições de força e velocidade nos movimentos.

A NBR 14153:2022, sobre segurança de máquinas – partes de sistemas relacionados à segurança-princípios gerais para projetos, estabelecendo guias sobre os princípios para o projeto, de partes de sistemas de comando relativos à segurança, especificando categorias e características de funções de segurança, para sistemas programáveis e todos os tipos de máquinas e dispositivos de proteção relacionados.

A NBR ISO 13849-1:2019, com objetivo de prover requisitos de segurança, orientação sobre os princípios de projeto e integração de sistemas de comando relacionados à segurança, inclusive o projeto de software. Aplicável para demandas altas e modo contínuo, independente das tecnologias e energias utilizadas.

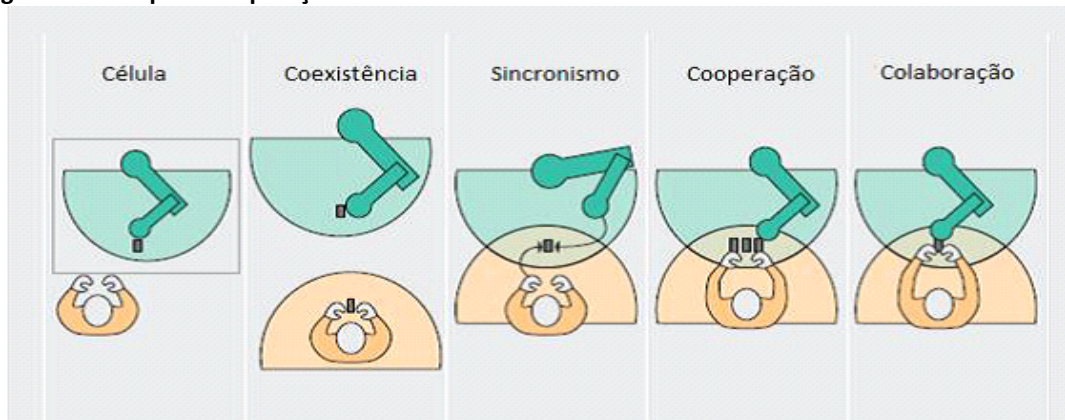
A NBR ISO 13849-2:2019 trazendo especificações dos procedimentos e condições para dar seguimento a validação por análise e teste de funções de segurança, a categoria e o nível de desempenho alcançada pelas partes de um sistema de controle.

3.2 Classificação das atividades colaborativas e exploração da ISO/TS 15066

O termo “colaboração” é definido por Vido et al. (2021, tradução nossa) como uma relação entre duas ou mais partes trabalhando de forma conjunta com um objetivo em comum, que mais adiante também compara com um trabalho em equipe.

Dentro da gama da robótica, é possível estabelecer cinco tipos de atividades realizadas com robôs: a atividade não-interativa também chamada de célula, onde robôs e humanos não estão trabalhando em tempo nem espaço comuns; a coexistente, o robô trabalha sem enclausuramento, mas não compartilham o mesmo ambiente; a sincronizada, que trabalham em um mesmo espaço porém em instantes distintos; a cooperativa, compartilhando o mesmo ambiente porém não o mesmo objeto e o trabalho colaborativo, sendo humano e robô atuando juntos nos mesmos ambientes e instantes, conforme ilustra a figura 1.

Figura 1 – Exemplos de operações com robôs



Fonte: Marques; Carrijo & Moraes (2020)

De acordo com Dombrowski, Stefanak & Reimer (2018) e conforme literatura da ISO/TS 15066 existem quatro modos de operação colaborativa, sendo definidos em:

3.2.1 Parada monitorada com classificação de segurança

Definido assim, pois causa uma parada de proteção antes do humano entrar na área de trabalho colaborativa.

Existem sensores de segurança capazes de captar a movimentação de pessoas dentro da área de trabalho colaborativa e parar o Cobot de forma imediata. É aplicável quando humanos e robôs trabalham em proximidade ou sobreposição do envelope de trabalho, não há liberação dos movimentos enquanto há proximidade ou interação humana dentro da área colaborativa. Neste estado existe uma monitoração e quando acontece a aproximação, os freios são acionados, mas o robô permanece ligado.

3.2.2 Modo guia manual

A movimentação do robô é permitida apenas pelo operador, que tem domínio para realizar uma atividade segura. Sua movimentação é realizada numa velocidade reduzida e segura, utilizando para isso uma guia manual para ensinar caminhos e posições ao Cobot. Neste modo, são necessários sensores de torque adicionais para que, caso o operador entre na área de trabalho colaborativa, o modo de parada monitorada com classificação de segurança seja acionado. No modo guia manual, o humano tem contato direto com o braço do robô e é um método aplicado à atividade mais complexas e não requerem muita agilidade em seu processo.

3.2.3 Velocidade e separação monitoradas

Robô e operador compartilham o mesmo ambiente dentro do espaço designado, tendo sistemas de segurança e sensores que identificam a distância até um obstáculo (geralmente humanos). Conforme a distância diminui, a velocidade deve ser mais lenta ou deve parar completamente. A colisão é evitada e existem algoritmos dependentes de sensores distribuídos pelo Cobot. Neste modo, deve-se respeitar e considerar uma velocidade segura de trabalho para que seja alcançado um nível de segurança adequado e não inviabilize a aplicação do robô.

3.2.4 Limitação de força e potência

Consiste em uma adequação do projeto, que tem em consideração o contato físico entre Cobot e humanos e para isso, a ISO/TS 15066 determina forças e energias máximas que podem ser aplicadas à humanos sem danos. Nesse modo, não são necessários sistemas de segurança externos, compreendendo-se que o seu projeto e configuração já existem sistemas embarcados com funções de segurança. Tem leitura e capacidade de identificar uma sobrecarga de força.

Sua construção física deve ser diferente dos modos citados anteriormente, caracterizando-se por superfícies arredondadas menos pontiagudas e com menor rigidez, proteções em pontos de apertos, não devem ter motores ou fios de energia aparentes ou facilmente acessíveis além de dissiparem a força quando sofrem impacto. Em condição de trabalho com distanciamento entre Cobot e humano, pode desempenhar seu ciclo normalmente e quando houver aproximação a velocidade deve ser reduzida tanto quanto à sua força e potência evitando colisões acidentais.

4 SKIN ROBOT

Cheng et al. (2019, tradução nossa) desenvolveram uma tecnologia denominada *artificial skin*, como se deduz pelo nome, é uma pele artificial criada para ser adaptada em robôs comuns com capacidade de reconhecer diferentes texturas, como a pele humana, captar quantidade de forças em contato, inclusive, em alguns casos conseguem identificar mudanças de temperaturas. Dentre diversos recursos utilizados pelos fabricantes, Cirillo et al. (2016, tradução nossa) destaca sensores indutivos, capacitivos, ultrassônicos e piezoelétricos, pela sensibilidade adquirida através de sensores de diversos tipos, incluindo também,

dispositivos optoeletrônicos que detectam as deformações locais, a força aplicada em sua superfície é capaz de ser detectada através da medição da resistência, que sofre variação conforme uma pressão é aplicada sobre ela, além de ter uma camada de absorção de impacto em sua estrutura, que é preparada para diminuir e absorver o impacto caso haja contato ou colisão com o ser humano.

É importante salientar que estes recursos apresentam algumas desvantagens. Os dispositivos optoeletrônicos, por exemplo, não são tão comuns pois tem o alto consumo de corrente e deve-se ter cuidado pois a grande maior parte destes sensores não tem capacidade de detecção sobre superfícies amplas. Através do discutido por Cirillo et al. (2016), é possível mitigar requisitos para satisfazerem as *skin robot*, elucidados no resumo abaixo:

Sistema de baixo custo, leve e baixo consumo de energia, deve poder ser aplicada à diferentes formas e curvaturas, os sensores deverão ser adaptáveis a diferentes resoluções e espaços, os elementos de detecção deverão constituir-se de materiais macios e/ou elásticos, as medições devem ter intervalos pequenos e com respostas rápidas, sistema com baixo ou sem exposição de componentes eletrônicos ou elétricos, fornecer dados de força e pressão de contato, capacidade de alta modularidade e escalabilidade, além da cobertura em sua totalidade ou pela maior parte possível na estrutura do robô.

A *Skin Robot* já é uma realidade utilizada em algumas empresas, provando ser uma alternativa para utilização de sistemas robóticos já operantes, com um custo reduzido e sem necessidade de alterações no ambiente físico, promovendo soluções inteligentes e tecnológicas beneficiando-se das transformações para Cobots.

5 EXEMPLOS DE APLICAÇÕES COM COBOTS E RESULTADOS APRESENTADOS

5.1 Estudo de caso I

Diante de estudos de aplicações feitas em indústrias, uma delas apresentada por Vido et al. (2021, tradução nossa) acompanhou e analisou o contexto e os dados de uma indústria de autopeças brasileira, que investiu na manufatura enxuta ou *Lean Manufacturing* - com uma das definições propostas por Godinho Filho & Fernandes, (2004) em um modelo que auxilia empresas a atingirem objetivos de qualidade e produtividade, estabelecendo ideias, fundamentos e regras, usando para alcançá-los, ferramentas, tecnologias e metodologias com intuito de acelerar a produção com o mínimo possível de erros. A mudança foi implantada com objetivo de alcançar maior nível de variedade de produtos, com menor nível de desperdício. No entanto, na célula manual existente naquele período, identificaram pontos de acúmulo de produtos, custos de armazenamento e problemas de qualidade devido ao nível de retrabalho no fluxo produtivo, onde em análises posteriores confirmaram impactos nas entregas, na movimentação de produtos, pessoas e informações, resultando em desperdícios de tempo e dinheiro.

A construção de uma célula utilizando robôs colaborativos, foi uma solução investida e aplicada em um posto onde atuavam 4 operadores, cada um com sua atribuição, resumidas em alimentar a máquina com peças, descarregar, inspecionar, monitorar a qualidade, adicionar componentes, etiquetar e empilhar. Através da transformação, foi possível obter uma nova configuração da célula, onde o autor define como modelo híbrido, com a inserção de dois Cobots e a colaboração de 2 operadores na realização das mesmas atividades.

Os resultados apresentados citados pelo autor trazem que o modelo híbrido é mais confiável e apresentam os mesmos níveis de demanda mensal comparado ao processo

manual, ele também segmenta níveis de prioridades competitivas em custos, onde foi possível obter redução nos custos de mão de obra e aumento da eficiência no trabalho realizado; qualidade, relatando como aderência parcial, ressaltando que devido à repetibilidade e precisão não são possíveis através da montagem manual, destacando a necessidade da permanência do trabalho manual nesta demanda; flexibilidade, tendo resultado parcial, mostrando ter melhor eficiência com aplicações em tarefas menos complexas, em tarefas mais complexas, os *Cobots Arms* mostram-se mais flexíveis e a confiabilidade, com resultados positivos, trouxe maior aderência, em alterações de prazos de entrega, possibilitam produção mais rápida e eficaz atendendo melhor os objetivos do mercado.

5.2 Estudo de caso II

A aplicação estudada por Dombrowski, Stefanak & Reimer (2018) aponta um processo de aparafusamento semiautomático que faz uso do Cobot, usando o modo guia manual, a atividade é executada e o operador posiciona o Cobot enquanto ele parafusa e aperta quatro parafusos na parte inferior do automóvel. Os automóveis passam pela linha de produção continuamente, ele afirma que o modo de operação de potência e limitação de forças foram utilizados e são responsáveis pela segurança do operador, as habilidades foram utilizadas conjuntamente para a execução do trabalho, de forma otimizada e uso com vantagens positivas da colaboração.

5.3 Estudo de caso III

Em uma montadora localizada na cidade de Bruxelas, na Bélgica, foi apontado em pesquisa, descrita por El Makrini et al. (2018, tradução nossa) cujo processo de montagem final existia grande variabilidade de produtos e manuseio de peças que continham materiais mais sensíveis que era em sua maior parte, realizada manualmente por humanos. Conforme relatado, o processo final possuía apenas seis manipuladores industriais. Foi destacada a questão de o trabalho ser mais delicado e exigir habilidades mais específicas, no entanto, foram levantados dois problemas que geraram preocupações futuras, tais como o envelhecimento da mão de obra e a questão do desenvolvimento de possíveis doenças ocupacionais em função do trabalho desempenhado. No caso, o processo consiste em aplicar cola para placas de reforços, utilizadas para apoiar os racks do teto do carro. Para isso, o operador utiliza pistola de cola para aplicar duas listras de cola em cima das placas de metal e depois colocam nos painéis laterais dos carros em linhas de montagem paralelas. A qualidade do trabalho sofre variações devido as habilidades dos operadores, pois é dependente da aptidão da pessoa que faz a aplicação e existem influências de outros fatores como temperatura e hora do dia.

Foi criado então um projeto nomeado como *Claxon Project* e utilizaram o Cobot *Walt* para o caso. A integração deste, dispôs resultados diretamente ligados às questões de qualidade em que houve diminuição de reprova em um dos critérios avaliados em 15% e a redução da quantidade de cola utilizada em determinado intervalo de carros contabilizado em 20%. Ao final da pesquisa, é indicado que os operadores obtiveram um nível melhor de aceitação no trabalho realizado e se sentiram mais confortáveis ao trabalhar com robôs com construção mais intuitiva e simples, obtendo também satisfação em poder trabalhar juntamente às tecnologias como esta. Em contrapartida, foi relatado que houve limitações por precauções em relação a segurança por questões que ainda não estão totalmente

esclarecidas. Apesar do avanço da colaboração humano-robô e da elaboração de novos padrões dentro deste contexto, ainda há falta de legislação, e por isso, é necessário tomar precauções com eventuais falhas/acidentes, pois os fabricantes e desenvolvedores dos projetos podem ser responsabilizados.

6 CONCLUSÃO

Este artigo pretendeu compreender e discriminar os desafios de implementação dos Cobots, depreende-se ser um assunto pouco conhecido e evidenciado, fazendo uso da metodologia qualitativa para elucidar as características e peculiaridades de robôs industriais e dos colaborativos.

Conforme visto, o principal obstáculo da utilização desse tipo de robô é o fator da segurança. Contudo, é provado ser indispensável à aplicação do especificado pelas normas regulamentadoras existentes sobre os trabalhos colaborativos, a fundamental necessidade da preparação de uma análise de riscos, capacitação e treinamento de operadores.

Foram demonstradas as possibilidades de modos de trabalho estabelecidos por normas nacionais e internacionais, também foi apresentada uma tecnologia diferenciada de menor custo, a Skin Robot, para revolucionar robôs comuns e associá-los a atividades colaborativas.

Com a análise de resultados obtidos por empresas que aplicaram a tecnologia com intuito de melhorarem seus processos, foram analisados três casos distintos que obtiveram resultados significativos, o primeiro com objetivo de diversificar seus produtos e diminuir desperdícios, o segundo, em poder melhorar a ergonomia de trabalho reduzindo danos aos operadores e mantendo seu nível de qualidade na realização de sua atividade mais complexa e por último, o caso de implementação em que havia preocupação com o envelhecimento das habilidades de mão de obra em trabalhos específicos, diminuição de lesões e de carga horária de trabalho, além de melhorar a qualidade e reduzir gastos com matéria prima do processo.

REFERÊNCIAS

ARAI, T.; KATO, R.; FUJITA, M. Assessment of operator stress induced by robot collaboration in assembly. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 59, n. 1, p. 5–8, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007850610000442>. Acesso em: 10 nov. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 13849-1**: Segurança de máquinas - Partes de sistemas de comando relacionadas à segurança Parte 1: Princípios gerais de projeto. 1 ed. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 13849-2**: Segurança de máquinas - partes de sistemas de comando relacionadas à segurança parte 2: validação. 1 ed. Rio de Janeiro; ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14153**: Segurança de máquinas - Partes de sistemas de comando relacionadas à segurança - Classificação por categorias de segurança. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 10218-1**: Robôs e dispositivos robóticos — Requisitos de segurança para robôs industriais Parte 1: Robôs. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 10218-2**: Robôs e dispositivos robóticos — Requisitos de segurança para robôs industriais Parte 2: Sistemas robotizados e integração. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BRENT GILLESPIE, R.; EDWARD COLGATE, J.; PESHKIN, M. A. A general framework for Cobot control. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, v. 17, n. 4, p. 391–401, 2001. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/954752>. Acesso em: 10 nov. 2022.

CHENG, G. et al. A Comprehensive Realization of Robot Skin: Sensors, Sensing, Control, and Applications. **Proceedings of the IEEE**, v. 107, n. 10, p. 2034–2051, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8812712>. Acesso em: 10 nov. 2022..

CIRILLO, A. et al. A conformable force/tactile skin for physical human-robot interaction. **IEEE Robotics and Automation Letters**, v. 1, n. 1, p. 41–48, 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7346450>. Acesso em: 10 nov. 2022..

DOMBROWSKI, U.; STEFANAK, T.; REIMER, A. Simulation of human-robot collaboration by means of power and force limiting. **Procedia Manufacturing**, v. 17, p. 134–141, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918311442>. Acesso em: 10 nov. 2022..

EL MAKRINI, I. et al. Working with Walt: How a Cobot Was Developed and Inserted on an Auto Assembly Line. **IEEE Robotics and Automation Magazine**, v. 25, n. 2, p. 51–58, 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8360084>. Acesso em: 10 nov. 2022..

GODINHO FILHO, M.; FERNANDES, F. C. F. Manufatura Enxuta: uma revisão que classifica e analisa os trabalhos apontando perspectivas de pesquisas futuras. **Gestão & Produção**, v. 11, n. 1, p. 1–19, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/xVKzHrx3dqW4bF9K3BghrWn/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 10 nov. 2022.

HAJDU, C. et al. Economical Mobile Robot Design Prototype and Simulation for Industry 4.0 Applications. *In* **IEEE International Conference and Workshop in Obuda on Electrical and Power Engineering**, 2020. Budapeste: IEEE, 2020. p. 155-160. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9337786>. Acesso em: 10 nov. 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO. **ISO 8373**: Robotics: vocabulary. 3 ed. Genebra, 2021. 30 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO. **ISO/TS 15066**: Robots and robotic devices: Collaborative robots. 1 ed. Geneva, 2016. 40 p.

LASOTA, P. A.; SHAH, J. A. Analyzing the effects of human-aware motion planning on close-proximity human-robot collaboration. **Human Factors**, v. 57, n. 1, p. 21–33, 2015. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0018720814565188>. Acesso em: 10 nov. 2022.

MARQUES, A. L.; CARRIJO, R. S.; MORAIS, A. S. DE. Robótica colaborativa: importância e desafios. **Interface Tecnológica**, v18, n. 2, 2021. Disponível em: <https://docplayer.com.br/204447121-Robotica-colaborativa-importancia-e-desafios.html>. Acesso em: 10 nov. 2022.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. **NR-12**: segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. 2022. 167 p. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-12-atualizada-2022.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2022.

PLATBROOD, F.; GÖRNEMANN, O. **Safe robotics**: a segurança em sistemas robóticos colaborativos. SICK AG ARTIGO TÉCNICO. Disponível em: https://cdn.sick.com/media/docs/5/15/115/whitepaper_safe_robotics_pt_im0073115.pdf. Acesso em: 10 nov. 2022.

ROMERO, D. et al. Towards an operator 4.0 typology: a human-centric perspective on the fourth industrial revolution technologies. *In*: **CIE 2016: 46th International Conferences on Computers and Industrial Engineering**, 46, October, 2016. P.0-11. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/309609488_Towards_an_Operator_40_Typology_A_Human-Centric_Perspective_on_the_Fourth_Industrial_Revolution_Technologies. Acesso em: 10 nov. 2022.

SORDAN, J. E. et al. Robótica Colaborativa à luz da Gestão da Produção: Revisão de Literatura e Oportunidades para Pesquisas Futuras. *In* Simpósio de Engenharia, Gestão e Inovação. **Anais...Águas de Lindóia - SP: 2019**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333330283_Robotica_Colaborativa_a_luz_da_Gestao_da_Producao_Revisao_de_Literatura_e_Oportunidades_para_Pesquisas_Futuras. Acesso em: 10 nov. 2022.

VIDO, M. et al. The impact of the collaborative robot on competitive priorities: case study of an automotive supplier. **Gestao e Produção**, v. 27, n. 4, p. 1–21, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/S8d5kMq8mbPFgPZsdqpvcrv/?lang=en&format=pdf>. Acesso em: 10 nov. 2022.

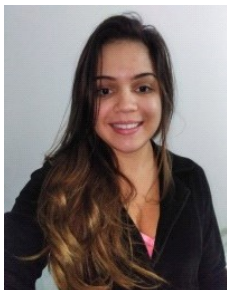
VIEIRA JUNIOR, A. B. et al. Gestão De Processos E Sistemas Produtivos Com Robôs Autônomos E Colaborativos Para Prevenir Doenças a Saúde Do Trabalhador No Âmbito Digital. **CIMATEch**, v. 1, n. 6, p. 238–247, 2019. Disponível em: <https://publicacao.cimatech.com.br/index.php/cimatech/article/view/184>. Acesso em: 10 nov. 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo fôlego de vida e pelas bênçãos por ter chegado até aqui, a minha família que sempre me deu incentivo e apoio durante o curso, aos meus colegas de classe pelo tempo e pelas experiências compartilhadas. Agradeço a equipe de docência da escola SENAI Armando de Arruda Pereira, em especial ao Mestre Júlio Freitas e ao Mestre Ricardo Martinez Vicentini que contribuíram no direcionamento durante a elaboração deste artigo.

Sobre os autores:

ⁱ PAMELA MONTEIRO DE MORAES



Possui graduação em Tecnologia Mecatrônica pela Faculdade pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2018) e pós-graduação em Indústria 4.0 (2022). Tem experiência na área de Ferramentaria e Automação. Atualmente é técnica mecatrônica empresa Scania Latin América, atuando no setor da manutenção.

ⁱⁱ RICARDO MARTINEZ VICENTINI



Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do ABC - UFABC (2018), pós-graduado lato sensu em Automação Industrial pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2016) e Tecnólogo em Automação Industrial pela Faculdade de Tecnologia São Vicente (2013). Atualmente é Professor de Educação Profissional Tecnológica da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. É membro do IEEE e da Sociedade Brasileira de Automática (SBA).

ⁱⁱⁱ MURILO TORRES DE OLIVEIRA



Mestrando em Engenharia Mecânica pelo IFSP - Instituto Federal de São Paulo, pós-graduado em Engenharia de Controle e Automação pela UNIDERP (2020) e Engenheiro de Controle e Automação pela Universidade do Grande ABC - UNIABC (2012). Atualmente é Professor de Educação Profissional Tecnológica da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. Possui experiência nas áreas de Automação, Mecatrônica e Robótica, sempre atuando em aplicações industriais.

iv VICENTE GOMES DE OLIVEIRA JUNIOR

Possui graduação em Tecnologia Elétrica pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (1982), complemento em Pedagogia pela Universidade Metodista de Piracicaba (1999) e Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (2006). Atualmente é professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. Tem experiência na área de Automação Industrial, Sistemas Supervisórios e Robótica.