



## ROBÔS COLABORATIVOS: COLABORAÇÃO HUMANO-ROBÔ

Renan Soares\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UNIARA – Universidade de Araraquara

**Resumo** – A robótica colaborativa agrega diversos benefícios dentro e fora da indústria, surgindo para ocupar a lacuna entre o trabalho manual e totalmente automatizado, trazendo eficiência na produção e melhorias na ergonomia dos operadores. Esse modelo permite robôs trabalharem lado a lado com humanos, até fora do chão de fábrica. Mesmo com a flexibilidade sendo principal característica dos robôs colaborativos, certas indústrias demonstram características que dificultam a sua implementação. Assim sendo, algumas atividades permanecem sendo executadas por operadores humanos.

Portanto, este trabalho visa apresentar a colaboração humano-robô dentro e fora da indústria, apresentando os desafios que esta implementação precisa superar.

**Palavras-Chave** – Robótica Colaborativa, Colaboração Humano-Robô, Local de Trabalho Compartilhado.

### COLLABORATIVE ROBOTS: HUMAN-ROBOT COLLABORATION

**Abstract** - Collaborative robotics brings a number of benefits inside and outside industry, emerging to fill the gap between manual and fully automated work, bringing production efficiency and improved ergonomics for operators. This model allows robots to work side by side with humans, even outside the factory floor. Even though flexibility is the main characteristic of collaborative robots, certain industries demonstrate characteristics that make their implementation difficult. Therefore, some activities remain being performed by human operators.

Therefore, this paper aims to present the human-robot collaboration inside and outside the industry, presenting the challenges that this implementation needs to overcome.

**Keywords** - Collaborative Robotics, Human-Robot Collaboration, Shared Workplace.

### I. INTRODUÇÃO

No final do século XVIII houve a revolução industrial, que foi a soma de diversos avanços quase simultâneos na engenharia mecânica, metalurgia, química e outras disciplinas, os resultados de todos estes avanços foi o motor a vapor desenvolvido por James Watt entre 1765 e 1776,

\*rsoares@uniara.edu.br

trazendo a maior e mais rápida transformação em toda a história do mundo. A revolução industrial trouxe consigo a primeira era das máquinas da humanidade, a primeira vez que nosso progresso foi impulsionado, principalmente, pela inovação [1].

A palavra robô surgiu por meio da peça Tcheca de 1921 R.U.R (*Rossum's "Universal" Robots*) de Karel Capek [2]. Issac Asimov cunhou o termo robótica em 1941 e forneceu regras básicas para a disciplina no ano seguinte, com as suas famosas Três Leis da Robótica [1]:

- Um robô não pode machucar um ser humano ou, através da inação, permitir que um ser humano corra perigo.
- Um robô deve obedecer às ordens dadas por seres humanos, exceto quando tais ordens entrarem em conflito com a Primeira lei.
- Um robô deve proteger a sua própria existência enquanto tal proteção não conflitar com a Primeira ou a Segunda Lei.

Os primeiros robôs começaram por ser introduzidos em ambientes industriais, com o objetivo de substituir o homem em tarefas como montagem e soldagem. Em 1978 surge o Programable Universal Machine For Assembly (PUMA) da Unimation Inc., e o SCARA desenvolvido na Universidade de Yamanashi com introdução comercial em 1981. Sistemas da IBM 7565 e o Adept estão entre os primeiros sistemas robóticos articulados, implementados em grande escala, em aplicações de montagem [3].

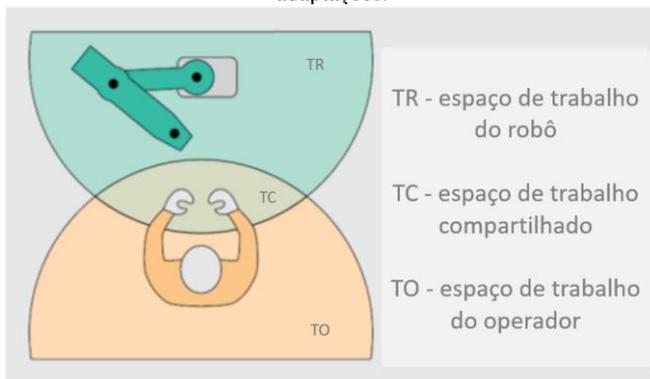
A inteligência artificial permitiu à robótica a percepção, os robôs podem sentir o ambiente através da visão computacional ou por meio de sensores integrados. Por meio dos avanços feitos na engenharia eletrônica, computação e mecatrônica, a robótica está cada dia mais sofisticada. Para alcançar níveis cada vez mais altos de automação, a interação entre humanos e máquinas torna-se uma questão central [4].

O conceito de cooperação humano-robô (do inglês *human-robot cooperation* – HRC) refere-se ao uso de robô sem dispositivos de segurança, por exemplo, contorna de luz e cercas, que não comprometem a segurança do operador. As tarefas atribuídas ao operador e ao robô estão situadas no mesmo ambiente de trabalho eliminando-se, assim, a divisão entre o trabalho humano manual e o trabalho automatizado de um robô [5].

Robôs Colaborativos, também conhecidos por *Cobots* (do inglês *Collaborative robots*), são máquinas que trabalham lado a lado com os humanos. Em um processo de trabalho compartilhado, eles reduzem o desgaste físico e auxiliam o operador humano.

A especificação técnica ISO/TS 15066:2016 que será vista com mais detalhes no próximo capítulo acrescenta que o robô colaborativo por definição compartilha o espaço de trabalho com o operador representado na Figura 1, que é o espaço operacional onde humano e robô, seus periféricos podem realizar tarefas simultaneamente durante a operação de produção, o *cobot* é capaz de trabalhar em segurança, sem representar perigo para o operador humano [5].

Figura 1: Espaço de trabalho em ambiente colaborativo [6], com adaptações.



Os robôs desenvolvidos para este propósito são frequentemente desenvolvidos com extremidades arredondadas para minimizar os danos em caso de colisão, utilizam um feedback por torque ou força nas articulações, parando a sua operação quando há risco de colisão [7].

Este trabalho tem como objetivo apresentar as vantagens e desafios da colaboração humano-robô, onde no capítulo I foi apresentada uma contextualização histórica além de breve introdução sobre o assunto. Será exposto no capítulo II conceitos e paradigmas importantes. Os exemplos de aplicações dos robôs colaborativos serão apresentados no capítulo III. O desenvolvimento das análises sobre as vantagens, desvantagens e desafios da colaboração humano-robô estarão no capítulo IV, por fim, no capítulo V são realizadas as conclusões com a indicação de trabalhos futuros.

## II. CONCEITOS E PARADIGMAS

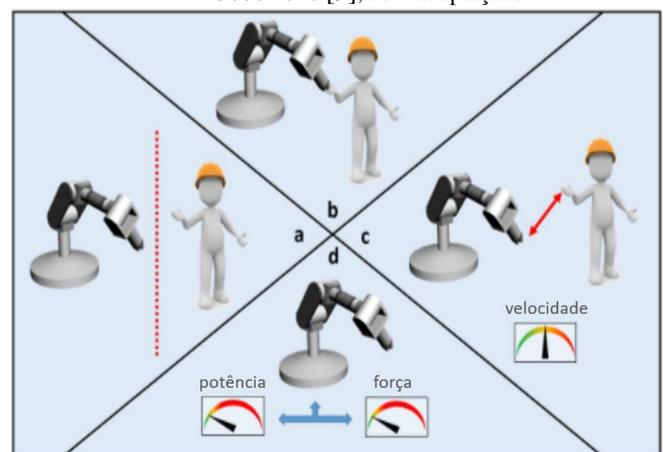
Tendo em vista a análise colaboração humano-robô, é importante ter como base certos conceitos. Portanto, essa seção visa apresentá-los de forma rápida para possibilitar discussões futuras.

Um aspecto fundamental para a implementação de atividades colaborativas é garantia da segurança. A segurança da robótica colaborativa é definida por padrões internacionais. Além da possibilidade de existir padrões técnicos de acordo com cada fabricante [8].

A ISO/TS 15066:2016 estabelece os limites de força e velocidade para uma operação ser considerada colaborativa, primeiramente apresentando a identificação geral de perigos e avaliação de risco em relação a sistemas colaborativos de robô

com o humano. Depois, são apresentados os requisitos para aplicação do sistema de robótica colaborativa. Uma distinção é feita aqui entre quatro modos operacionais diferentes, no primeiro modo representado na Figura 2 segmento “a”, representa a parada monitorada com classificação de segurança só permite o movimento do robô se o operador estiver fora do espaço de trabalho colaborativo, assim que ele entra para interagir, o movimento do robô para até que ele saia. Segundo modo de operação representado na Figura 2 segmento “b” o monitoramento de velocidade e separação vai um passo além, permitindo que o operador entre no espaço de trabalho colaborativo. Aqui, a velocidade de movimento do robô diminui ou aumenta dinamicamente, dependendo da distância entre o operador e o robô. Se a distância ficar abaixo de uma distância mínima de separação de proteção, o robô para. O terceiro modo representado pela Figura 2 segmento “c” o guiador manual dá outro passo adiante. Neste primeiro caso de aceitação de um contato entre humano e robô, o operador é capaz de guiar o robô movendo-o manualmente dentro do espaço de trabalho colaborativo, por exemplo, por um dispositivo de guia manual ou pelo uso de sensor de torque de força no ponto central da ferramenta, transmitindo a entrada manual para o movimento do robô. Por fim o quarto modo representado pela Figura 2 segmento “d”, a limitação de potência e força permite finalmente, um espaço de trabalho colaborativo totalmente compartilhado, existe a possibilidade de colisões não intencionais e imprevisíveis entre humanos e robôs, mas a fim de fornecer segurança, a potência e a força são limitadas para garantir a conformidade com a força biomecânica dada ou limites de pressão [9].

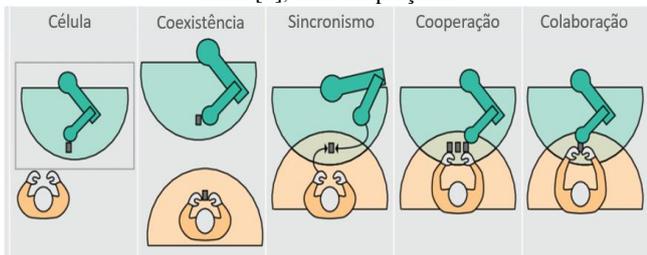
Figura 2: Modos de operação de colaborativa ISO/TS 15066:2016 [9], com adaptações.



A interação entre robôs e trabalhadores humanos pode ser classificada de acordo com cinco categorias, conforme o nível de interação, como se pode observar na Figura 3, O primeiro caso é a célula, não corresponde a uma situação de cooperação já que o trabalhador está isolado e protegido do robô, tal como ocorre na automação industrial tradicional. No segundo caso coexistência ambos as partes trabalham lado a lado, mas cada um tem o seu espaço de trabalho pelo que continua não havendo cooperação. O terceiro caso é o sincronismo onde o trabalhador humano e o robô compartilham o espaço de trabalho, mas apenas um deles opera de cada vez. No quarto caso a cooperação ambos têm a disponibilidade de operar ao

mesmo tempo em produtos ou componentes distintos. O último caso a colaboração sendo esta situação o objetivo da robótica colaborativa, o que significa que tanto o operador como o robô se encontram no espaço compartilhado manipulando ao mesmo tempo um dado produto. [10].

Figura 3: Os diferentes níveis de cooperação na interação humano robô [6], com adaptações.



Adicionalmente o uso de robôs colaborativos apresentam benefícios no fato de serem gerenciados e controlados através de sistemas intuitivos baseados na programação por demonstração e realidade aumentada, entre outras opções, o que torna mais segura a colaboração humano-robô. Estes sistemas envolvem diversos dispositivos de segurança entre eles sonares, câmeras e sensores de proximidade, permitem o monitoramento dos movimentos do próprio robô colaborativo usando sensores avançados que não põe em risco ou perigo o trabalhador. Como não são capazes de pensar por si, os *cobots* só executam comandos após aprendizagem dos movimentos o que os limita a cumprir o que está na sua programação.

O principal atrativo para a robótica colaborativa é a união entre os atributos dos robôs, como a repetitividade e a eficiência, aliado as características de um trabalhador humano, como a capacidade cognitiva e a tomada de decisões [9], [11]. Dessa colaboração humano-robô obtém-se melhorias importantes no processo, como redução dos custos da produção a melhoria da ergonomia. Contudo, tais resultados dependem diretamente da adequada divisão das tarefas e melhor adaptabilidade dos robôs colaborativos.

### III. APLICAÇÕES COLABORATIVAS

Nesta seção são apresentados os exemplos de aplicações da robótica colaborativa, analisando as suas motivações e resultados.

#### A. Tratamento Fisiátricos

As aplicações da robótica colaborativa extrapolam o âmbito industrial, esta tecnologia por respeitar as leis da robótica de Asimov é segura a ponto de permitirem aos fisioterapeutas adaptem diferentes ferramentas no robô, concedendo-lhes a oportunidade de poupar tempo a acompanhar os pacientes durante as repetições dos exercícios. A avaliação final da concretização das trajetórias permite ao fisioterapeuta avaliar o seu paciente e programar os exercícios seguintes. Estas condições permitem a melhoria da execução e avaliação dos exercícios [3]. A figura 4 representa esta aplicação, onde [3] utilizou o manipulador industrial UR5, produzido pela Universal Robots, com uma capacidade de até 5 kg. Para esta aplicação desenvolveu-se uma ferramenta que simula um

punho ou maçaneta, onde se apoia a mão do paciente que executara os exercícios.

Figura 4: Robô colaborativo auxiliando em tratamento fisioterapêutico [3], com adaptações.



Conforme [3], apesar de esta aplicação ainda ser experimental os resultados são positivos. Por ser uma aplicação recente necessita de algumas melhorias e adaptações, entre elas calibrar o braço do usuário diretamente no programa do robô, antes de iniciar os exercícios e utilizar um sistema de visão para detectar as articulações e adaptar os exercícios a localização do paciente.

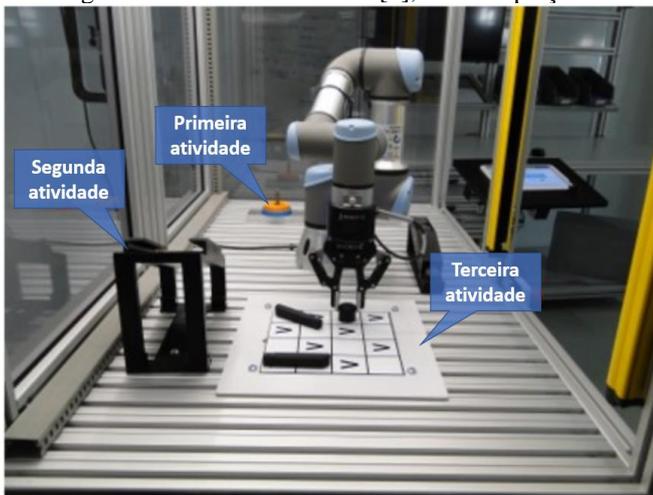
#### B. Pick and place

Na indústria o *pick and place* que em português pode ser traduzido como pegar e posicionar, está entre as funções mais comuns dos robôs colaborativos. Por se tratar de uma tarefa extremamente repetitiva, um braço robótico colaborativo consegue fazê-la com bastante facilidade e precisão. Algumas tarefas, como a colocação em superfícies irregulares ou de produtos que vêm de forma irregular, precisam de mais atenção humana, apesar dos robôs colaborativos estarem cada dia mais próximos de fazerem este tipo de atividade de forma autônoma. De qualquer forma, o trabalho humano é necessário em todos os casos, para supervisionar o trabalho das máquinas [12].

Em [7], há a execução de três experimentos colaborativos relacionados a *pick and place*. A Figura 5 apresenta a estrutura desenvolvida para este experimento. Na primeira atividade, o robô irá desenvolver de forma automática e contínua a torre de Hanoi um quebra-cabeça que consiste em mover discos em uma base que contém três pinos, em que um deles estão alguns discos uns sobre os outros, em ordem crescente de diâmetro, de cima para baixo. A segunda atividade, é arrumação de peças, o operador terá a tarefa de colocar na área de trabalho, previamente definida pelo campo de visão do robô, n peças cilíndricas ou paralelepípedos com orientação aleatória sendo que no final da colocação deverá apertar um botão para chamar o robô. O robô irá para uma posição de reconhecimento visual e posteriormente calcula a

posição e orientação de cada peça colocando-as em uma rampa de estoque. Assim que deixa de detectar qualquer peça, na sua área de visão, o robô volta à sua atividade principal que é a torre de Hanoi, sem que para isso seja necessário o operador realizar qualquer ação. Por último colocação de peças, esta nova tarefa segue o anterior cenário, mas de forma inversa, ou seja, em vez de o robô ir à posição de reconhecimento localizar a posição da peça e arruma-la, vai localizar o local onde irá colocar a peça. Para isso será criada uma área de trabalho constituída por quadrículas brancas e pretas, dispostas alternadamente em forma de xadrez. O operador terá ao seu dispor, peças numa rampa colocada na zona de trabalho comum e, deve colocar 8 peças nas quadrículas brancas.

Figura 5: Célula colaborativa [7], com adaptações.



Segundo [7], resultados foram satisfatórios e todos os experimentos, na primeira atividade o sistema demonstrou robustez suficiente se mostrando confiável, o teste de falha realizado na segunda atividade correspondeu às expectativas com o robô reconhecendo a não presença de peça agarrada e envia para o operador a mensagem de falta de peças. Por último o cenário de arrumação de peças, foram colocados diferentes números de peças cilíndricas e de cabos e sua identificação foi devidamente realizada, assim como a sua escolha foi realizado da forma pretendida.

#### IV. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE

Para avaliar a importância da robótica colaborativa e os seus desafios, são analisados os aspectos relacionados às vantagens e desvantagens resultantes da sua aplicação e, por fim, são apresentados os principais desafios desse campo. A Tabela 1 sintetiza os tópicos que são analisados.

Tabela 1: Aspectos analisados para a implementação de atividades colaborativas

|                  |                         |
|------------------|-------------------------|
| <b>Vantagens</b> | Interação homem-máquina |
|                  | Baixo custo             |
|                  | Segurança               |
|                  | Fácil programação       |
|                  | Alta aplicabilidade     |

|                     |                           |
|---------------------|---------------------------|
| <b>Desvantagens</b> | Baixa velocidade          |
|                     | Baixa capacidade de carga |
|                     | Falta de robustez         |
| <b>Desafios</b>     | Adaptabilidade            |
|                     | Divisão de tarefas        |

#### A. Vantagens

Robôs colaborativos são desenhados especificamente para trabalhar colaborativamente com pessoas, deste modo, em vez de estarem protegidos ou isolados por barreiras de segurança, trabalham em ambientes cooperativos, o oposto da indústria clássica que realizam o seu trabalho a seguirem uma programação rígida, o que incluía não ter em conta as pessoas que trabalhavam com eles [4].

Um dos aspectos mais atrativos do robô colaborativo é o seu baixo custo se comparado com o preço de um robô convencional, não somente na aquisição do equipamento, mas também na sua instalação, manutenção e programação [5].

Estes equipamentos estão desenhados para trabalhar na mesma área juntamente com o operador. Com sensores sofisticados, os *cobots* interrompem sua movimentação com um mínimo impacto, o que permite evitar qualquer perigo para as pessoas. Isso faz com que as áreas fechadas e os espaços de segurança já não sejam necessários [4], [7].

Robôs colaborativos são muito fáceis de programar. Por exemplo, um técnico pode realizar um movimento com o braço do robô e este pode reproduzir o mesmo movimento de forma automática, o que reduz consideravelmente qualquer processo de programação [7].

Os *cobots* não só são fáceis de reprogramar, também são relativamente fáceis de mover e de utilizar em outros pontos da linha de produção. A maioria dos robôs colaborativos podem ser montados em qualquer orientação, desde o piso até as paredes e tetos [7].

#### B. Desvantagens

Robôs colaborativos para se tornarem seguros tiveram que ter uma diminuição na velocidade de movimentos, esta diminuição é necessária para o *cobot* conseguir parar a tempo antes de haver algum contato com o operador e se houver não causar lesões, se tornando consideravelmente mais lento em relação a robôs tradicionais [9].

Os robôs colaborativos tem baixa capacidade de carga, evitando assim esmagamentos e perfurações. Com isto limitando a suas aplicações em atividades que exigem menor capacidade de carga, sendo utilizados somente em trabalhos leves [9]. Robôs tradicionais por sua vez, tem grande capacidade de carga, podem levantar toneladas.

Robôs colaborativos não são eficientes em todo tipo de operação, dependendo da atividade existe uma variação na produtividade. Pelo fato de *cobots* serem facilmente inseridos em linhas de produção ou células de montagens, uma divisão inadequada das atividades pode reduzir a eficiência do processo em até 70% em relação a atividade exercida somente com o trabalhador humano como mostrado em [11], demonstrando assim uma falta de robustez para algumas atividades.

### C. Desafios

O mercado dos robôs colaborativos está se expandindo para além do chão de fábrica como mostrado em [3], com isto surgem alguns novos desafios que devem ser superados para permitir a sua popularização. Em [3] uma das dificuldades é a adaptação do *cobot* com a posição do paciente que irá receber o tratamento, comprometendo assim a eficiência da atividade proposta pelo fisioterapeuta.

Na indústria um fator fundamental para o sucesso da colaboração humano-robô é a divisão de tarefas, em [11] é bem apresentado a importância e em que influencia uma divisão inadequada das tarefas. Idealmente, a organização do trabalho deve ser elaborada de tal forma que a situação de trabalho dos funcionários humanos seja melhorada, sem ser deteriorada em nenhum sentido [6]. Contudo, não há nenhuma ferramenta que atue de modo efetivo no desenvolvimento da divisão de tarefas entre operador e robô colaborativo.

Desse modo, tanto a adaptabilidade quanto a divisão de tarefas devem ser melhor desenvolvidas.

### V. CONCLUSÕES

Conforme exposto neste trabalho, os robôs colaborativos apresentam-se como um colaborador em atividades com humanos, não somente dentro de indústrias, se mostrando capazes de respeitar as três leis da robótica propostas por Asimov, contudo uma atividade colaborativa para se tornar realmente segura é necessária uma análise de risco.

Outra grande vantagem dos robôs colaborativos é o seu baixo custo econômico, que vai além de seu valor de aquisição, visto que não necessita de grande adequação do ambiente, outro fator é a fácil programação permitindo até mesmo funcionários com menor conhecimento técnico sejam capazes de fazê-la.

A adaptabilidade em atividades colaborativas é um fator que diferencia a robótica colaborativa da robótica tradicionais, mas como robôs colaborativos não estão limitados ao chão de fábrica existe a necessidade de maiores estudos em atividades com o contato direto entre humano e robô também em ambientes não controlados.

No âmbito industrial um desafio que necessita de estudos, é a divisão de tarefas entre o trabalhador humano e robô, uma divisão inadequada dessas atividades pode trazer desvantagens em vez de vantagens no processo produtivo.

Portanto, é possível concluir que robôs colaborativos são capazes de interagir com humanos com segurança dentro de indústrias sendo importante para o desenvolvimento industrial, mas também fora da indústria podendo auxiliar em tratamentos médicos. Contudo existem diversos estudos a serem feitos visto os desafios e desvantagens dentro e fora das indústrias.

### REFERÊNCIAS

- [1] E. Brynjolfsson and A. McAfee, *A segunda era das máquinas*, Alta Books, 1ª Edição, Rio de Janeiro, 2015.
- [2] Editora Madre Pérola (2020). *R.U.R e a origem do termo robô*. Acedido em 23 de Junho 2020, em: <https://www.editoramadreperola.com>.
- [3] D. B. Martins, "Aplicação de robôs colaborativos em tratamentos fisioterápicos". 2020.
- [4] C. J. Loureiro, "Cobots na Indústria 4.0 Impactos Sociais e Econômicos". 2018.
- [5] M. Vido, "Fatores impeditivos da normatização brasileira para o uso do robô colaborativo no setor industrial," 2018.
- [6] W. Bauer, M. Bender, M. Braun, P. Rally, and O. Scholtz, "Lightweight robots in manual assembly – best to start simply!". Fraunhofer IAO, pp. 1–61, 2016.
- [7] V. M. R. Sousa, "Projeto e montagem de célula flexível de montagem com colaboração homem/robô". 2018.
- [8] I. F. of Robotics, "Demystifying collaborative industrial robots," no. Dezembro, 2018, [Online]. Disponível: <https://ifr.org/case->.
- [9] M. J. Rosenstrauch and J. Kruger, "Safe human-robot-collaboration-introduction and experiment using ISO/TS 15066," 2017 3rd Int. Conf. Control. Autom. Robot. ICCAR 2017, pp. 740–744, 2017, doi: 10.1109/ICCAR.2017.7942795.
- [10] R. M. Morgado, "Impacto na produção de células de robótica colaborativa em posto de operação manual". 2020.
- [11] V. Costa and A. Correia, "Um Estudo sobre o Impacto da Robótica Colaborativa na Produtividade em Tarefas Manuais". 2018.
- [12] Eletronor (2021). *A aplicação de robôs colaborativos nas diferentes indústrias*. Acedido em 09 de Agosto 2021, em: <https://www.eletronor.com.br>