



MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

CONCEÇÃO DE AMBIENTES DE TRABALHO COLABORATIVOS: DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO CONCEPTUAL BASEADO NOS PRINCÍPIOS DA ERGONOMIA E SEGURANÇA NO TRABALHO

Ana Sofia Silva Pinheiro

Orientador: Professora Doutora Joana Carvalho dos Santos (ESS)
Coorientador: Professor Doutor Mário Augusto Pires Vaz (FEUP)
Arguente: Doutora Emília Graça Dourado Telo Ferraz Pereira André (ACT)
Presidente do Júri: Professor Doutor João Manuel Abreu dos Santos Baptista (FEUP)

2021



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt ISN: 3599*654



Telefone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40



URL: <http://www.fe.up.pt>



Correio Electrónico: feup@fe.up.pt

AGRADECIMENTOS

“A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez.”

George Bernard Shaw

Deixo o meu agradecimento a todos aqueles que de alguma forma, permitiram que esta dissertação se concretizasse.

Em primeiro lugar agradeço à Professora Dr.^a Joana Santos, da Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico do Porto, por todo o seu apoio, disponibilidade, empenho, paciência, capacidade de motivação e incentivo. Por fomentar sempre o melhor dos seus alunos e acreditar neles mesmo quando os próprios duvidam, por ser capaz de adaptar os seus horários à disponibilidade dos alunos, e principalmente, por ser incansável no trabalho que realiza.

Agradeço também ao grupo de investigação do INESC TEC, Dr.^a Ana Simões, Dr.^a Ana Pinto e Dr. David Romero, por me permitirem integrar o seu projeto, pela partilha de conhecimento e apoio.

Por último, mas não menos importante, agradeço à minha família e amigos, pelo seu apoio e incentivo nesta etapa. Ao meu irmão João Pedro, pela sua intervenção constante, inocente e divertida nas reuniões de trabalho, e por me ajudar a selecionar figuras de robôs.

DESTAQUES

1. Os robôs colaborativos não devem ser vistos como uma ameaça aos postos de trabalho.
2. A criação de ambientes de trabalho colaborativos deve ser centrada no humano.
3. A interação humano-robô deve basear-se em fatores humanos/ergonomia e segurança.
4. Fatores com influencia na interação devem ser aplicados em conjunto e não isoladamente.
5. Estudos realizados neste âmbito devem ser multidisciplinares.

HIGHLIGHTS

1. Collaborative robots should not be seen as a threat to jobs.
2. The design of collaborative workspaces must be centered on the human.
3. Human-robot interaction should be based on human factors/ergonomics and safety.
4. Factors influential in the interaction should be applied together and not isolated.
5. Studies on the design of collaborative workspaces must be multidisciplinary.

RESUMO

A presença de robôs colaborativos (ou *cobots*) nos locais de trabalho será cada vez mais comum devido à necessidade de tornar os sistemas de produção mais eficientes e flexíveis. Apesar de todos os progressos tecnológicos, os princípios e teorias fundamentais relacionados com os fatores humanos neste contexto ainda não são suficientemente explorados, não existindo ainda uma estratégia para o desenho de estações de trabalho colaborativas completamente centrada no humano.

O objetivo principal desta Dissertação foi desenvolver um modelo conceptual para a criação de ambientes de trabalho colaborativos, tendo por base uma revisão sistemática da literatura.

Foi realizada uma revisão sistemática da literatura com recuso à metodologia PRISMA, recorrendo às bases de dados *Scopus* e *Web of Science*. Foram excluídos os estudos que não se centraram na interação humano-robô, que não se centraram na análise dos fatores cognitivos, físicos, organizacionais ou de segurança, e cuja área de aplicação não foi o setor industrial. No final foi elaborado um modelo conceptual de relação dos fatores considerados relevantes na interação humano-robô.

Foram incluídos 33 estudos na revisão sistemática da literatura. Ao nível das tarefas, a montagem de peças foi a tarefa mais estudada (14), seguida da movimentação de peças/embalagens (11). Os estudos foram categorizados em quatro grupos: fatores cognitivos (13), fatores físicos (6), fatores organizacionais (4) e segurança (10). Com base na revisão sistemática da literatura resultou um modelo conceptual de apoio ao desenvolvimento de ambientes de trabalho colaborativos, que reforça a importância de uma abordagem integrada e multidisciplinar na conceção deste tipo de ambientes.

Os robôs colaborativos são uma realidade e as empresas devem estar preparadas para a sua inclusão. A revisão sistemática da literatura realizada veio comprovar que existem muitos fatores que influenciam a interação humano-robô e que devem ser explorados na criação de ambientes de trabalho colaborativos. Espera-se que o modelo conceptual apresentado possa apoiar as empresas na aplicação com sucesso da colaboração humano-robô.

Palavras-chave – Interação humano-robô; Robôs colaborativos; Projeto centrado no humano; Ergonomia; Segurança.

ABSTRACT

The presence of collaborative robots (so-called cobots) in workplaces will become more common due to the need to make manufacturing systems more efficient and flexible. Despite all technological advances, fundamental principles and theories related to human factors in this context are not yet sufficiently explored, and there is still no strategy for design a collaborative workstation completely human-centered.

The main objective of this Dissertation was to develop a conceptual model for the design of collaborative work environments, based on a systematic literature review.

A systematic literature review was conducted using PRISMA methodology, on Scopus and Web of Science databases. The studies that did not focus on human-robot interaction, did not focus on the study of cognitive, physical, organizational or safety factors, and whose area of application was not the industrial sector were excluded. In the end, a conceptual model was elaborated to relate factors considered relevant in human-robot interaction.

Thirty-three studies were included in the systematic literature review. At the level of the tasks the assembly of parts was the most studied task (14), followed by the movement of parts / packages (11). The studies were categorized into four groups: cognitive factors (13), physical factors (6), organizational factors (4) and safety (10). Based on the systematic literature review, a conceptual model was formed to support the development of collaborative work environments, which reinforces the importance of an integrated and multidisciplinary approach in the design of this type of environment.

Collaborative robots are a reality and companies must be prepared for their inclusion. The systematic literature review proved that there are many factors with influence on human-robot interaction that should be explored in the design of collaborative work environments. It is expected that the conceptual model presented can support companies in the successful application of human-robot collaboration.

Keywords: Human-robot interaction; Collaborative robots; Human-centered design; Ergonomics; Safety.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	3
1.1	Organização da Dissertação.....	4
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1	Indústria: Passado, Presente e Futuro	5
2.1.1	Surgimento e Evolução da Indústria	5
2.1.2	Atualidade e Futuro da Indústria.....	7
2.2	Robótica.....	7
2.2.1	Início da Robótica	7
2.2.2	Robôs: Surgimento e Evolução	8
2.2.3	Robôs da Atualidade	9
2.2.4	Interação Humano-Robô	11
2.2.5	Robôs Colaborativos	12
2.3	Segurança e Saúde Ocupacionais	17
2.3.1	Fatores Humanos e Ergonomia	17
2.3.2	Segurança	20
2.4	Desafios e Oportunidades da Robótica para a Segurança e Saúde Ocupacionais	24
2.4.1	Fatores Organizacionais	24
2.4.2	Fatores Cognitivos.....	25
2.4.3	Fatores Físicos.....	26
2.4.4	Segurança	27
2.4.5	Análise SWOT	28
2.5	Enquadramento Legal e Normativo.....	29
2.6	Objetivos da Dissertação	32
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1	Protocolo.....	33
3.2	Fontes de Informação	33
3.3	Estratégias de Pesquisa.....	33
3.4	Critérios de Elegibilidade	34
3.5	Gestão de Dados	35

3.6	Modelo Conceptual	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	Metodologia PRISMA.....	39
4.2	Caracterização dos Estudos	40
4.2.1	Ano de Publicação	40
4.2.2	Base de Dados, Tipo de Documento e Tipo de Estudo.....	40
4.2.3	Aplicações Industriais	41
4.2.4	Tipo de <i>Cobots</i>	42
4.2.5	Análise dos Estudos Incluídos	44
4.2.6	Métodos.....	45
4.3	Fatores Organizacionais	48
4.4	Fatores Cognitivos.....	49
4.5	Fatores Físicos.....	50
4.6	Segurança	51
4.7	Modelo Conceptual	52
4.8	Limitações e vieses.....	54
5	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	55
6	BIBLIOGRAFIA.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Contexto de trabalho no início do desenvolvimento da indústria (Servoz, 2019).	5
Figura 2 – Revoluções industriais. Adaptado de: Xu et al. (2018).	6
Figura 3 – Robôs ao longo dos anos. Adaptado de: IFR (n.d.).	9
Figura 4 – Robôs utilizados na atualidade.	10
Figura 5 – Diferentes níveis de cooperação humano-robô. Adaptado de: Bauer et al. (2016).	12
Figura 6 – Relação complexidade e eficácia. Adaptado de: Gualtieri et al. (2020b).	13
Figura 7 – Características da colaboração. Adaptado de: Hashemi-Petroodi et al. (2020).	14
Figura 8 – Efetores finais para <i>cobots</i> . Adaptado de: Berreby (2020).	15
Figura 9 – <i>RBO Hand 2</i> (Berreby, 2020; Zöllner et al., 2018).	15
Figura 10 – Aspectos a considerar na colaboração. Adaptado de: Benos et al. (2020).	16
Figura 11 – Fases de conceção e avaliação. Adaptado de: Holden et al. (2021).	17
Figura 12 – Fatores relevantes para a ergonomia. Adaptado de: IEA (n.d.).	18
Figura 13 – Diminuição das barreiras nos ambientes de trabalho (Marvel et al., 2020).	21
Figura 14 – Conceito de perigo, risco e consequência.	22
Figura 15 – Variáveis e condições de contacto. Adaptado de: Gualtieri et al. (2020a).	23
Figura 16 – Análise SWOT: Robotização das indústrias.	29
Figura 17 – Enquadramento legal robótica. Adaptado de: Gualtieri et al. (2020a).	31
Figura 18 – Fatores com influencia na interação humano-robô.	35
Figura 19 – Representação de um modelo conceptual. Adaptado de: Garabet e Miron (2010). ..	36
Figura 20 – Diagrama de fluxo PRISMA.	39
Figura 21 – Ano de publicação dos estudos selecionados	40
Figura 22 – Setor industrial e tarefas analisadas nos estudos.	41
Figura 23 – Categorização e subcategorização dos estudos.	45
Figura 24 – Pele de robô tridimensional flexível. Adaptado de: Pang et al. (2018).	52
Figura 25 – Modelo conceptual para a criação de ambientes de trabalho colaborativos.	53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Métodos de análise ergonómica.	18
Tabela 2 – Palavras-chave e sinónimos utilizados na pesquisa bibliográfica.	34
Tabela 3 – Base de dados, tipo de documento e método dos estudos selecionados.	41
Tabela 4 – <i>Cobots</i> utilizados nos estudos e as suas principais características.	42
Tabela 5 – Métodos de estudo utilizados.	46
Tabela 6 – Variáveis e indicadores analisados.	47

GLOSSÁRIO

A

Acidente de Trabalho: aquele que se verifique no local e no tempo de trabalho e produza direta ou indiretamente lesão corporal, perturbação funcional ou doença de que resulte redução da capacidade de trabalho ou de ganho, ou ainda a morte (Lei 98/2009, de 4 de setembro).

Autonomia: capacidade de executar determinadas tarefas com base no estado atual e na deteção, sem intervenção humana (ISO 12100:2010).

C

Certificação: processo de determinação da conformidade de serviços, produtos, máquinas, equipamentos ou procedimentos, com base nos requisitos normativos estabelecidos (ACT, 2014)¹.

Componentes materiais do trabalho: incluem o local de trabalho, o ambiente de trabalho, as ferramentas, máquinas e equipamentos, os processos de trabalho, a organização do trabalho, e ainda os agentes químicos, físicos e biológicos (Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro, e respetivas alterações).

Controlo de riscos: adoção de medidas a diversos níveis (técnico, organizacional, formação, informação) com vista à redução dos riscos profissionais e à implementação das medidas preventivas e corretivas (ACT, 2014)¹.

D

Doença Profissional: resultado de uma exposição a riscos presentes no local de trabalho, quer pela natureza da atividade ou condições, ambiente e técnicas do trabalho habitual. Esta deve estar incluída na Lista das Doenças Profissionais, ou não estando incluída, a lesão corporal, perturbação funcional ou doença, que se prove ser consequência necessária e direta da atividade exercida e não represente normal desgaste do organismo (Lei 98/2009, de 4 de setembro).

E

Empregador: pessoa singular ou coletiva com no mínimo um trabalhador a seu cargo, responsável pela empresa ou estabelecimento, podendo ser também organismos sem fins lucrativos, com competência para a contratação de trabalhadores (Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro, e respetivas alterações).

Empresa: organização que produz produtos ou fornece serviços, pela conjugação do seu capital com o trabalho (ACT, 2014)¹.

I

Interface (homem-máquina): toda a matéria e procedimentos de uma máquina disponíveis para interação com os usuários (ISO 11064-5:2008).

¹ ACT. (2014). *Glossário*. [https://www.act.gov.pt/\(pt-PT\)/CentroInformacao/Glossario/Paginas/default.aspx](https://www.act.gov.pt/(pt-PT)/CentroInformacao/Glossario/Paginas/default.aspx). Acedido a 14 de junho de 2021

L

Lesão: dano corporal com alteração das funções celulares, dos tecidos ou dos órgãos, causado por uma ação, e que pode dar origem a incapacidade (ACT, 2014)¹.

Lesão profissional: lesão resultante de acidentes de trabalho doença profissional (ACT, 2014)¹.

Local de trabalho: lugar em que o trabalhador desempenha as suas funções, ou para onde este se deve dirigir em virtude do seu trabalho (Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro, e respetivas alterações).

M

Máquina: conjunto de peças ligadas entre si, em que pelo menos uma delas é móvel. E ainda, de acionadores, de circuitos de comando e de potência, reunidos com vista a uma aplicação definida, nomeadamente para a transformação, o tratamento, a deslocação e o acondicionamento de material (Decreto-Lei n.º 103/2008, de 24 de junho).

Movimentação manual de cargas: operação de transporte e sustentação de uma carga, por um ou mais trabalhadores (ACT, 2014)¹.

Movimentos repetitivos: movimentos executados durante mais de duas horas por dia ou mais de uma hora contínua, e que solicitam a ação, mais ou menos intensa dos mesmos músculos (ACT, 2014)¹.

N

Norma: especificação técnica com carácter normativo (nacional, europeia, internacional), aprovada por organismo reconhecido e cuja aplicação é opcional (ACT, 2014)¹.

O

Operador: qualquer trabalhador incumbido da utilização de um equipamento de trabalho (Decreto-Lei n.º 50/2005, de 25 de fevereiro).

P

Perigo: propriedade intrínseca de uma instalação, atividade, equipamento, um agente ou outro componente material do trabalho com potencial para provocar dano (Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro, e respetivas alterações).

Posto de trabalho: conjunto de recursos humanos, físicos, tecnológicos e organizacionais que, numa organização de trabalho, visa a realização de uma tarefa ou atividade (ACT, 2014)¹.

Prevenção: conjunto políticas, programas e medidas, adotadas ou previstas, em todas as fases de atividade da empresa, que tenham como objetivo eliminar ou diminuir os riscos profissionais a que estão potencialmente expostos os trabalhadores (Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro, e respetivas alterações).

Proteção: conjunto de meios e técnicas para controlar os riscos (ACT, 2014)¹.

R

Risco: probabilidade de concretização do dano em função das condições de utilização, exposição ou interação ao perigo (Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro, e respetivas alterações).

S

Segurança no trabalho: metodologias adequadas à prevenção de acidentes de trabalho, através do reconhecimento e o controlo dos riscos associados aos componentes materiais do trabalho (ACT, 2014)¹.

Sistema: conjunto de elementos discretos (ou componentes) interligados ou em interação (ACT, 2014)¹.

T

Tarefa: Conjunto de operações com afinidades entre si de que resulta uma atividade (ACT, 2014)¹.

Técnico Superior de Segurança no Trabalho: profissional que organiza, desenvolve, coordena e controla as atividades de prevenção e de proteção contra riscos profissionais (Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro, e respetivas alterações).

Trabalhador: pessoa singular, que presta um serviço ao empregador, mediante uma retribuição, inclui ainda, o tirocinante, o estagiário e o aprendiz, que dependam economicamente do empregador, em função da sua atividade laboral (Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro, e respetivas alterações).

SIGLAS, ABREVIATURAS E UNIDADES

COBOTS	Robôs Colaborativos
EU-OSHA	<i>European Agency for Safety and Health at Work</i>
FCT	Fundação para a Ciência e a Tecnologia
IA	Inteligência Artificial
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
kg	Quilograma
LMERT	Lesões Muscoesqueléticas Relacionadas com o Trabalho
m/s	Metros por segundo
SST	Segurança e Saúde no Trabalho
TSST	Técnico Superior de Segurança no Trabalho

PARTE 1

1 INTRODUÇÃO

A introdução de robôs na indústria tem sido um tema alvo de atenção, devido principalmente às possíveis consequências, para o mercado de trabalho. Alterações ao nível do ambiente de trabalho e da Segurança e Saúde no Trabalho (SST) são também previsíveis, sendo por isso a temática de grande importância. A estatística indica um aumento na introdução de robôs na indústria. Entre 2010 e 2014, na Europa, a venda de robôs aumentou cerca de 17%, com os principais interessados sendo a indústria automóvel e a indústria da eletrónica/elétrica. Em 2015, Portugal ocupava o 15º lugar, em 26 países europeus, num ranking referente a densidade de robôs por 1000 trabalhadores. Em 2016, Portugal foi um dos países que registou um maior aumento deste parâmetro. As estimativas indicam que existe cerca de 70% de potencial de automatização em Portugal, principalmente ao nível da indústria e das tarefas repetitivas. Na Europa, 4%, das empresas utilizam Inteligência Artificial (IA) de uma forma eficaz. A nível nacional, 9% das empresas veem na inteligência artificial uma prioridade, sendo que dessas, 50% esperam que a IA tenha elevada influência na sua área de negócio (Fundação para a Ciência e a Tecnologia [FCT], 2019 ; Delvaux, 2017).

A implementação das tecnologias da Indústria 4.0 nos sistemas de fabrico caracteriza-se por níveis mais elevados de automatização e pela integração de diferentes tecnologias que permitem melhorar a flexibilidade de produção, eficiência, sustentabilidade e inclusão. Para atingir este objetivo, a adoção de robôs colaborativos (*cobots*) na indústria está a crescer, uma vez que estes oferecem uma oportunidade para humano e robô trocarem informações e partilharem tarefas. Os *cobots*, com o apoio da IA, são ergonomicamente conscientes, adaptáveis às mudanças ambientais e a múltiplas estratégias de controlo. Estas tecnologias são capazes de proteger os trabalhadores de situações perigosas e de facilitar o acesso ao trabalho para muitas pessoas que estão atualmente excluídas, pessoas com deficiência, trabalhadores em envelhecimento ou pessoas com incapacidade (European Agency for Safety and Health at Work [EU-OSHA], 2019).

A FCT define como uma prioridade da investigação e inovação até 2030, a robotização, sistemas autónomos, IA e os novos modelos de trabalho. Esta temática reforça a importância do planeamento de modelos de trabalho, em ambientes automatizados, tendo sempre presente a colaboração dos robôs, como agentes de auxílio e não de substituição. Na vertente investigação, é referida a importância da automatização para a indústria, a introdução do elemento humano na modelação, simulação e controlo, e a segurança com os sistemas automatizados. No que se refere à vertente da inovação, é referida a melhoria das condições de trabalho, o conhecimento do papel das pessoas em ambientes automatizados, e os novos elementos sobre segurança e condições de trabalho (FCT, 2019).

Apesar de todos os progressos tecnológicos, os princípios e teorias fundamentais relacionados com os fatores humanos ainda não são suficientemente explorados em contextos colaborativos, não existindo ainda uma estratégia para o desenho de estações de trabalho colaborativas, completamente centrada no homem (Gualtieri et al., 2020a).

No âmbito de SST a robótica apresenta oportunidades nomeadamente, a prevenção da saúde e bem-estar dos trabalhadores, incluindo a redução de Lesões Musculoesqueléticas Relacionadas com o Trabalho (LMERT), mas também desafios como a ocorrência de colisões e de impactos psicológicos negativos devido a resistências à mudança.

De acordo com a Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro e respetivas alterações, das obrigações do empregador faz parte assegurar ao trabalhador condições de segurança e saúde em todos os aspetos do seu trabalho, a adaptação do trabalho ao homem e a adaptação ao estado de evolução da técnica, bem como a novas formas de organização do trabalho. O Técnico Superior de Segurança no Trabalho (TSST), deve garantir o cumprimento destas obrigações, sendo fundamental a investigação dos fatores de risco emergentes.

1.1 Organização da Dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada nos capítulos descritos de seguida.

- Capítulo 1 – Introdução: enquadramento teórico da temática em estudo.
- Capítulo 2 – Fundamentação Teórica: enquadramento tecnológico, científico, legal e normativo;
- Capítulo 3 – Materiais e Métodos: descrição da metodologia desenvolvida para alcançar os objetivos propostos.
- Capítulo 4 – Resultados e Discussão: apresentação dos dados obtidos, dos resultados do seu tratamento, e da discussão dos mesmos por comparação com o conhecimento sobre o assunto
- Capítulo 5 – Conclusões: descrição do cumprimento dos objetivos propostos, das principais conclusões e das perspetivas para novos trabalhos e desenvolvimentos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Indústria: Passado, Presente e Futuro

2.1.1 Surgimento e Evolução da Indústria

O setor industrial de um país influencia a sua procura, economia, política, desenvolvimento tecnológico, entre outros. A entrada e saída de produtores é potenciada pelas mudanças constantes do mercado (Dabir-Alai, 1998). Diferentes análises do desenvolvimento da indústria foram surgindo ao longo dos anos, a mais difundida e reconhecida, admite a existência de quatro revoluções industriais. A primeira revolução industrial iniciou-se no final do século XVIII, a segunda revolução industrial no final do século XIX, a terceira revolução industrial no final do século XX e a quarta no século XXI (Neves, 2007).

A primeira revolução industrial teve início em Inglaterra, e mais tarde em muitos outros países, trazendo consigo uma mudança drástica a nível cultural, económico e social. Atividades anteriormente limitadas pelas fontes de energia utilizadas deixam de o estar. As barreiras geográficas são transpostas, começando a indústria a desenvolver-se nas cidades e periferias. Tudo isto, graças ao aproveitamento em grande escala e de forma eficaz da energia a vapor. A Figura 1, caracteriza a indústria nos seus primórdios (Mendes, 2006).



Figura 1 – Contexto de trabalho no início do desenvolvimento da indústria (Servoz, 2019).

A segunda revolução industrial dá-se com o desenvolvimento da eletricidade, o motor de combustão interna, a exploração do petróleo e o crescimento da indústria química. A terceira

revolução industrial é caracterizada pelo aparecimento da energia nuclear, e o notório desenvolvimento da informática, com visíveis progressos nos setores das telecomunicações, da aviação e das viagens espaciais (Mendes, 2006).

O conceito de indústria 4.0 surge no século XXI, ano de 2011, na Alemanha, sendo a partir daí difundido e dando início à quarta revolução industrial. Este conceito é por vezes reconhecido como carecendo de ter uma definição concreta e adequada. Apesar disso, esta indústria caracteriza-se pela aplicação dos princípios e das tecnologias da *internet*. A cada revolução industrial, e respetivas transformações nos processos produtivos, com a introdução de novos produtos, equipamentos e tecnologias, verificaram-se alterações nas características dos trabalhos realizados. Com a indústria 4.0, é reconhecido um decréscimo na carga física do trabalho comparativamente à carga mental. O operador funciona como um coordenador das atividades, enquanto que as máquinas e equipamentos auxiliam na vertente física e de trabalho muscular das tarefas (Beier et al., 2020). Além disso, é também reconhecida uma maior autonomia, agilidade, flexibilidade e eficiência (Pérez & Alarcón, 2016).

A indústria 4.0 está associada ao elevado desenvolvimento da automatização, dos processos de digitalização, eletrónica e a designada *internet das coisas* (Lu, 2017). A automatização permite a substituição do trabalho humano pelo uso de dispositivos eletrónicos ou mecânicos (Frohm et al., 2008). A *internet das coisas* é a designação associada à conexão em rede de objetos do dia-a-dia equipados com inteligência. O desenvolvimento deste conceito, permitiu aumentar a rede de dispositivos em comunicação com os humanos e outros objetos (León et al., 2010). Para além destas, as tecnologias associadas à indústria 4.0 são: computação em nuvem, bancos de dados, simulação, realidade aumentada, sistemas integrados, cibersegurança e os robôs autónomos (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). A implementação destas tecnologias levou ao aparecimento do conceito de fábrica inteligente (*smart factory*). Esta define-se como um sistema ciberfísico integrado, com diferentes recursos que possibilitam a troca de dados e informações, sendo a base de uma operação estável e eficiente (Wan et al., 2020).

A Figura 2, sistematiza as principais características das quatro revoluções industriais.

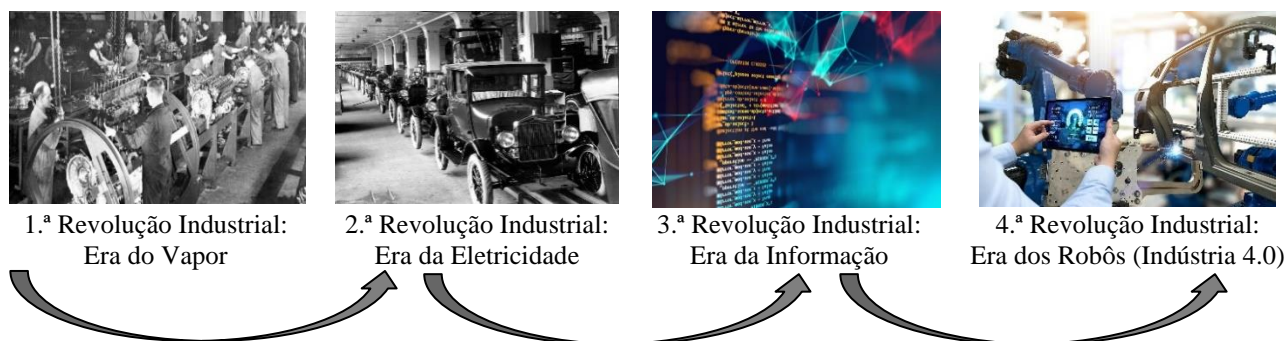


Figura 2 – Revoluções industriais. Adaptado de: Xu et al. (2018).

2.1.2 Atualidade e Futuro da Indústria

A evolução da indústria ao longo dos anos demonstrou a sua capacidade de adaptação às constantes inovações e modificações. Sendo assim, não é de estranhar que já seja debatida uma quinta revolução industrial. Ao contrário das restantes revoluções, que verificaram o aumento de um contexto mais desenvolvido a nível tecnológico e económico, esta prevê-se mais humanamente solidária, potenciada pelo esgotamento dos recursos naturais e o colapso ambiental. É previsível que se abandone a procura de novas formas de produção e venda, para se focar no desenvolvimento de soluções para problemas, com base na partilha e globalização. O mercado de trabalho terá de mudar como consequência das novas formas de vida, com a extinção de algumas atividades e o desenvolvimento de outras, mais dispersas geograficamente, intelectualmente mais desenvolvidas, valorizadas e principalmente mais aliadas ao sentimentalismo e à sensibilidade. Nesta revolução destaca-se ainda o desenvolvimento dos clones, nanotecnologias e robótica, associados ao desenvolvimento da IA (EU-OSHA, 2015)

“Pode uma máquina pensar?”, é a questão colocada no teste de *Turing*. Para passar no teste as seguintes capacidades tem que se verificar: capacidade de comunicar numa língua natural, capacidade de ter conhecimento e armazená-lo, capacidade de raciocinar com base no conhecimento armazenado, e por fim, capacidade de aprender com o ambiente (Turing, 2004). O conceito de IA tem sido amplamente debatido, e tem por base a extensão do conceito de inteligência humana. O desenvolvimento de computadores capazes de interagir com os humanos através do pensamento e de processos como aprendizagem, raciocínio e autocorreção, é uma das definições possíveis. O desenvolvimento de máquinas chegará a um patamar, em que estas terão capacidades consideradas únicas aos humanos (Kok et al., 2010).

2.2 Robótica

2.2.1 Início da Robótica

Em 1921, na peça de teatro “*R.U.R. – Rosumovi Umeli Roboti*” (os Robôs Universais de *Rossum*) de Karel Capek, o termo robô surgiu pela primeira vez, derivado do termo checo *robot* (trabalho forçado). Na peça os robôs são fabricados para auxiliarem o humano, reduzindo a necessidade destes realizarem trabalhos de elevado esforço físico. Os robôs revoltam-se contra os humanos pelo trabalho servo que são obrigados a realizar, acabando por os matá-los (Roberts, 2018).

A robótica é a ciência e prática de conceção, produção e aplicação de robôs (*International Organization for Standardization* (ISO) 8373:2012). Em 1950, Isaac Asimov surge com as três leis da robótica (Schiavico & Siciliano, 1995):

- 1.^a Um robô não pode causar dano ao humano, ou, permitir por passividade que o humano se prejudique;
- 2.^a Um robô deve obedecer às ordens que lhe são dadas pelo humano, exceto quando estas entram em conflito com a 1.^a Lei;

3.^a Um robô deve proteger a sua própria existência, exceto quando entre em conflito com a 1.^a e 2.^a Lei.

Já no século XXI, ano 2000, Mark W. Tilden, definiu as seguintes leis da robótica (Roberts, 2018):

- 1.^a Um robô deve proteger a sua existência a todo o custo;
- 2.^a Um robô deve obter e manter acesso a uma fonte de energia;
- 3.^a Um robô deve procurar continuamente por uma fonte de energia melhor.

Estes dois conjuntos de leis podem ser debatidas, uma vez que são de certa forma contraditórias. As leis de Isaac Asimov, direcionam-se para o humano e a sua segurança, por outro lado as leis de Mark W. Tilden, são direcionadas para a proteção do robô (Roberts, 2018). Especialistas de diferentes áreas podem ter pontos de vistas válidos para defender cada um destes autores, contudo é previsível que os TSST reconheçam a validade e importância das leis de Isaac Asimov, uma vez que estão definidas com foco no trabalhador, visando assim que a interação humano-robô se dê sem prejuízo para este último.

2.2.2 Robôs: Surgimento e Evolução

A ISO 8373:2012, define robô como um mecanismo acionado, programável em dois ou mais eixos, com determinado grau de autonomia, que se move no seu ambiente, para executar as tarefas pretendidas (Robotic Industries Association, 2019)². Um robô é capaz de realizar atividades físicas, em diferentes modos operacionais, mais automatizados ou não, auxiliando diversas atividades humanas do comércio, serviços e indústria. Os robôs surgem como um auxílio aos recursos humanos uma vez que podem realizar tarefas repetitivas, de elevado esforço físico ou com outras características inadequadas do ponto de vista ergonômico, ou seja, que quando realizadas por humanos influenciam a sua saúde e bem-estar (Apriaskar et al., 2020).

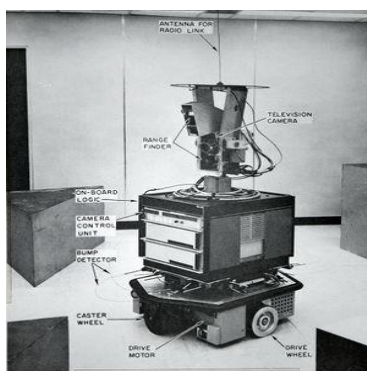
No ano de 1961, *Engelberger* estabeleceu no *Connecticut* nos Estados Unidos da América, a empresa *Unimation, Inc.*, apresentado nesse mesmo ano ao público presente no evento *Chicago's Cow Palace* e cinco anos depois em 1966 ao mundo no programa *Tonight Show*, o robô *Unimate 1900*, considerado o primeiro robô industrial. Nesse mesmo ano, o robô foi licenciado à empresa *Nokia of Finland* para ser produzido na Escandinávia e Europa Oriental, e em 1969 à empresa *Kawasaki Robotics* para ser produzido na Ásia (Robotic Industries Association, 2019)². No final da década de 60, foi desenvolvido o *Shakey*, o primeiro robô móvel com IA, capaz de perceber o ambiente envolvente, elaborar planos, recuperar de erros na execução e comunicar. Em 1979, no Japão é desenvolvido o primeiro robô a motor, *Nachi*, iniciando-se a era dos robôs elétricos. Em 2004 os primeiros *rovers (Spirit e Opportunity)* aterram em Marte. Em 2006, é apresentado o *KUKA*, o primeiro robô leve, fabricado em alumínio, com apenas 16 quilogramas (kg), uma grande diferença do primeiro robô fabricado que pesava duas toneladas. Em 2002 o primeiro robô com IA a ser comercializado, *Roomba* o aspirador. Em 2011, *R2*, o primeiro robô humanoide no espaço

² Robotic Industries Association. (2019). *Unimate - The first industrial robot. A Tribute to Joseph Engelberger*. <https://www.automate.org/a3-content/joseph-engelberger-unimate>. Acedido a 14 de junho de 2021.

é lançado na estação espacial internacional. Com o passar dos anos mais robôs têm sido desenvolvidos e implementados (IFR, n.d.)³. Da Figura 3 constam alguns dos robôs referidos.



Unimate 1900, 1961



Shakey, 1969



Nachi, 1979



Opportunity, 2004



KUKA, 2006



R2, 2011

Figura 3 – Robôs ao longo dos anos. Adaptado de: IFR (n.d.)³.

2.2.3 Robôs da Atualidade

É notório o desenvolvimento dos robôs a nível de configuração e utilidade ao longo dos anos. Nos dias de hoje são vários os exemplos de robôs utilizados (Figura 4). Desenvolvido pela *SEQSENSE Inc*, o *SQ-2* desempenha funções de segurança, sendo capaz de mapear em tempo de real o meio que o envolve. Qualquer obstáculo com que se possa deparar é por si detetado (Ushijima, 2018). A *Moxi* da *Diligent Robotics Inc*, é assistente clínica em hospitais, prestando auxílio ao funcionamento dos mesmos. As funções por si desempenhadas incluem recolher e distribuir medicamentos, materiais, objetos e equipamentos, permitindo aos trabalhadores passarem mais tempo com os seus pacientes, otimizando os cuidados de saúde (Diligent Robotics Inc., 2020)⁴. O *HRP-5P*, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Tecnologia e Ciência Avançada do Japão, apresenta 1,82 metros (m) de altura e uma forma humanoide, sendo capaz de utilizar ferramentas elétricas e manusear objetos de grandes dimensões e peso (Kaneko et al., 2019). O *Guardian XO*, da *Sarcos Robotics*, é um exoesqueleto de corpo inteiro, que permite aumentar a força e resistência

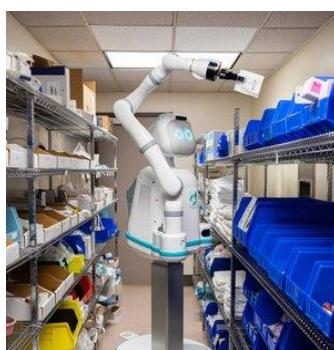
³ IFR. (n.d.). *Timeline. Robot history*. <https://ifr.org/robot-history>. Acedido a 14 de junho de 2021.

⁴ Diligent Robotics Inc. (2020). *Moxi*. <https://www.diligentrobots.com/moxi>. Acedido a 14 de junho de 2021.

do humano que o utiliza. Assim, o trabalhador pode mover cargas até 36 kg, sem ficar limitado na sua liberdade de movimento e precisão (Bogue, 2018). *ANYmal*, da *ANYbotics* é um robô de quatro pernas equipado com sensores para realizar diversas operações de resgate, inspeção e vigilância, sendo capaz de dar resposta em diferentes ambientes adversos (Fankhauser & Hutter, 2018). A *Abundant Robotics*, desenvolveu um robô de colheita de maçãs capaz de navegar autonomamente pelos pomares e detetar a fruta madura, removendo o fruto através de um mecanismo de vácuo (Bogue, 2020). Num outro espectro, no Japão, *Mindar*, é um robô que realiza sermões dos ensinamentos do budismo. Ambicionasse que um dia este robô seja capaz de manter uma conversa com os seus ouvintes e que seja dotado de algoritmos de aprendizagem automática (Holley, 2019)⁵.



SQ-2 pela *SEQSENSE Inc*



Moxi pela *Holley Inc*



HRP-5P pelo Instituto Nacional de Tecnologia e Ciência Avançada do Japão



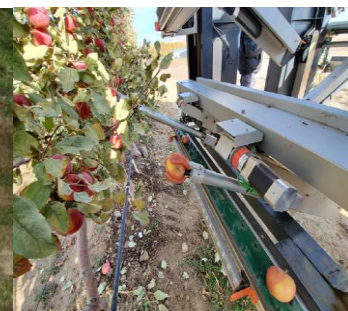
ANYmal pela *ANYbotics*



Guardian XO pela *Sarcos Robotics*



Robô de colheita de maçãs pela *Abundant Robotics*



Mindar pela *Universidade de Osaka*

Figura 4 – Robôs utilizados na atualidade.

⁵ Holley, P. (2019, agosto). *Meet 'Mindar,' the robotic buddhist priest*. The Washington Post. <https://www.washingtonpost.com/technology/2019/08/22/introducing-mindar-robotic-priest-that-some-are-calling-frankensteins-monster/>. Acedido a 14 de junho de 2021.

2.2.4 Interação Humano-Robô

Um robô inclui a interface e o próprio sistema de controlo, que representa um conjunto de funções que permitem monitorizar e controlar a estrutura mecânica do robô e a comunicação com o ambiente, incluindo equipamentos e utilizadores. Dependendo da sua aplicação os robôs podem ser classificados em robôs sociais ou robôs industriais. Os robôs sociais realizam tarefas úteis para humanos ou equipamentos fora do contexto industrial. Os robôs industriais, utilizados nas indústrias, são automaticamente controlados, multifuncionais e reprogramáveis (ISO 8373:2012). Estes robôs são utilizados nas indústrias com foco nos seguintes contributos (Cruz et al., 2007):

- Redução dos custos do produto final: através do aumento da produtividade, aumento da eficiência pela redução de perdas e redução dos custos energéticos;
- Fabricação de um produto de melhor qualidade: através de um maior controlo dos parâmetros de produção;
- Realização de atividades impossíveis de realizar pelo humano: por exemplo, devido à sua complexidade ou rapidez de movimento;
- Melhoria das condições de trabalho para o humano: através da eliminação ou redução das atividades consideradas perigosas.

Os robôs industriais podem realizar diversas tarefas tais como: selagem, montagem e manuseamento de ferramentas (Antonelli et al., 2016). O robô deve realizar as tarefas que lhe estão previstas com o melhor desempenho possível, devendo ser capaz de calcular e executar as operações eficazmente, o que o torna mais viável. Quanto mais rapidamente forem tomadas as decisões, mais tempo o robô terá para decidir sobre quais as instruções a realizar (ISO 8373:2012).

Nos últimos anos tem-se verificado um aumento na necessidade de robôs e humanos estabelecerem uma relação. Contudo, é necessário garantir que a interação humano-robô é segura, não representando perigo para o trabalhador ou outro humano que possa ser afetado pelo seu funcionamento. Posto isto, é necessário que a conceção e operacionalização dos robôs tenha em vista a não ocorrência de acidentes. O processo de definição e quantificação do nível de segurança associado a um robô é complexo devido à quantidade e diversidade de fatores influentes, e por isso, não existe ainda um método de quantificação. Este pode depender de parâmetros como *hardware*, *software*, *design*, requisitos normativos, legislativos e uso pretendido (Romano & Dutra, 2002).

A designação de interação humano-robô é geralmente utilizada quando o funcionamento do robô não implica a existência de barreiras físicas de segurança. O ambiente de realização de tarefas é comum para o humano e para o robô. Assim a interação humano-robô pode ser definida como as ações e trocas de informações entre o humano e o robô enquanto executam qualquer tarefa através de uma *interface* que inclui todos os assuntos e procedimentos disponíveis no sistema para interação com os seus utilizadores. Com a eliminação das barreiras físicas entre humanos e robôs, tornou-se necessário definir conceitos de classificação da sua interação. Para uma classificação abrangente, é necessário entender quais e como os humanos estão envolvidos, que tipo de robôs são utilizados, e como estes agentes interagem entre si (ISO 8373:2012; Kolbeinsson et al., 2018;

Zacharaki et al., 2020). A interação humano-robô, poderá tomar no espaço de trabalho combinado diferentes formas e conseqüentemente diferentes classificações (Figura 5), nomeadamente (Zacharaki et al., 2020):

- Coexistência: o humano e o robô realizam a sua atividade lado a lado, mas não compartilham um espaço de trabalho;
- Sincronização: o humano e o robô compartilham o espaço de trabalho, mas apenas uma destas partes está realmente presente no espaço de trabalho a qualquer momento;
- Cooperação: o humano e o robô compartilham o espaço de trabalho, sendo que as duas partes podem executar tarefas ao mesmo tempo no mesmo, contudo, não funcionam simultaneamente no mesmo produto ou componente;
- Colaboração: o humano e o robô compartilham o espaço de trabalho, sendo que as duas partes podem executar tarefas ao mesmo tempo no mesmo, e funcionarem simultaneamente no mesmo produto ou componente.

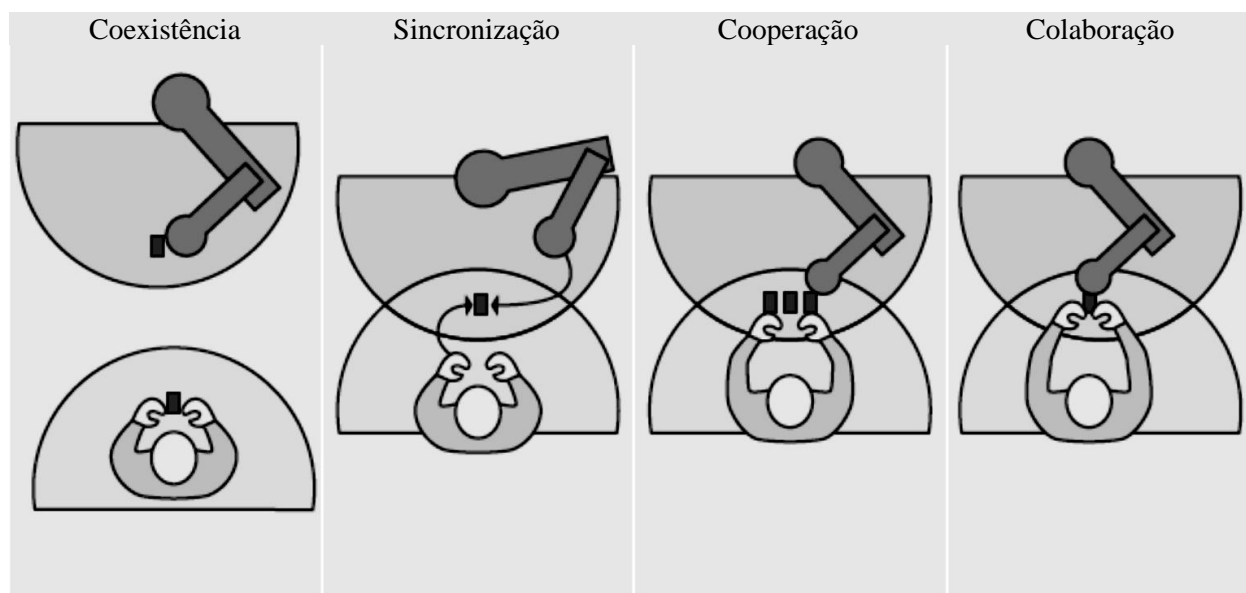


Figura 5 – Diferentes níveis de cooperação humano-robô. Adaptado de: Bauer et al. (2016).

2.2.5 Robôs Colaborativos

A atual dinâmica do mercado, obrigou as indústrias a apostarem na tecnologia, de forma a melhorar a qualidade dos produtos a custos mínimos e a maximizar a produtividade e a excelência operacional. Para cumprir com estes objetivos, as indústrias focaram-se na adoção de tecnologias e estratégias contemporâneas como a *internet das coisas*, economia circular, fabrico sustentável e de robôs colaborativos, também designados *cobots* (Virmani & Ravindra Salve, 2020).

Em ambientes de produção mais pequenos, como pequenas e médias empresas, as operações são maioritariamente manuais, pelo contrário, em linhas de produção massivas o uso de robôs é uma realidade, demonstrando o potencial do seu uso em certas operações. Contudo a automatização é um processo que ainda apresenta obstáculos. Por exemplo, ainda é um desafio para os robôs

manipularem materiais flexíveis como fios elétricos. Isto deve-se à variabilidade do estado inicial do objeto em termos de posição e forma, em comparação às condições estabelecidas no processo de programação. O trabalho manual permite uma flexibilidade e adaptabilidade que por vezes o uso de robôs não permite (Bauer et al., 2016; Román et al., 2021).

Nas empresas menos automatizadas, grandes esforços têm de ser realizados para ultrapassar os obstáculos da introdução de robôs. Neste contexto, estes podem não ser considerados viáveis devido aos elevados custos de configuração e manutenção, capacidades limitadas e preocupações a nível de segurança dos trabalhadores (Antonelli et al., 2016). Estas questões podem ser atenuadas pela implementação de *cobots* (Antonelli et al., 2014).

Os *cobots* são de acordo com ISO 10218-2, robôs projetados para a colaboração direta com o humano no espaço de trabalho definido e sem barreiras. Esta projeção deve garantir uma interação humano-robô segura. O espaço de trabalho partilhado pelo humano e robô durante a realização das suas operações é definido como o espaço de trabalho colaborativo, e inclui a área em que os agentes desempenham as suas tarefas.

Os diferentes constrangimentos em termos de condições iniciais irão afetar a complexidade do desenho da estação de trabalho e conseqüentemente a eficácia dos resultados finais (Figura 6). A criação de ambientes colaborativos pode partir das seguintes condições iniciais (Gualtieri et al., 2020b):

- Estação de trabalho existente com características do produto e do ciclo de montagem já definidas;
- Nova estação de trabalho, mas com características definidas do produto e do ciclo de montagem;
- Nova estação de trabalho sem características definidas do produto e do ciclo de montagem.

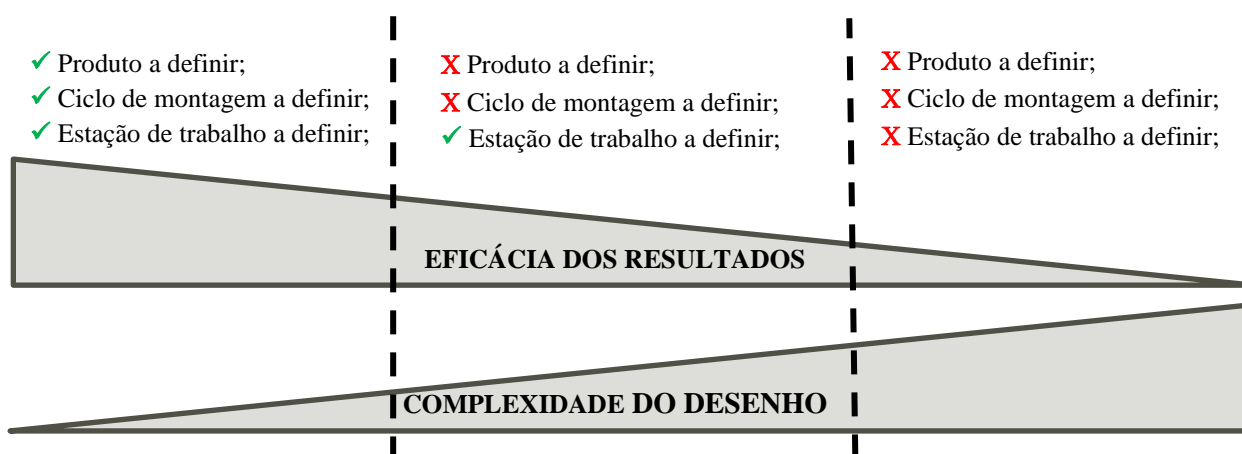


Figura 6 – Relação complexidade e eficácia. Adaptado de: Gualtieri et al. (2020b).

De forma a perceber que tarefas devem ser automatizadas existem critérios que devem ser analisados (Universal Robots, 2012):

- Produtividade: deve considerar-se automatizar operações em que a produtividade já seja satisfatória;
- Alcance e carga útil: os *cobots* podem ter diferentes tamanho e cargas uteis, sendo mais indicados para tarefas com alcance necessário inferior a 1300 mm e cargas até 16 kg;
- Peças e apresentação: os *cobots* devem ser aplicados a tarefas com peças de tamanho e formato consistente;
- Segurança: é importante a realização de avaliações de risco, de modo a definir a interação adequada;
- Conectividade e integração: é necessário avaliar em que extensão o robô e o humano terão de interagir, quanto mais estreita for a relação mais complexo será automatizar o processo;
- Efetor final: colocado no braço do robô pode ter diferentes formatos e funcionalidades, devendo ser o adequado à tarefa;
- Montagem e vedações: em aplicações mais simples, o *cobot* é posicionado num lugar permanecendo lá para a realização das suas tarefas, contudo pode ser necessário que este se movimente, para isso as peças e máquinas com que este trabalha devem estar sempre em local esperado;
- Ambiente: os *cobots* são capazes de funcionar em condições adversas de temperatura, ruído e sujidade contudo, podem necessitar de proteção extra em ambientes extremos;
- Programação e lógica: a automatização da tarefa será tanto mais fácil quanto menor for a necessidade da interação dos *cobots* com máquinas, equipamentos ou objetos;
- Necessidades futuras: na automatização dos processos devem ser consideradas não só as necessidades presentes, mas também as necessidades futuras.

A colaboração humano-robô permite combinar a flexibilidade, conhecimento e habilidades sensoriais do humano com a eficiência, força, resistência e precisão do robô (Vries et al., 2020). O seu principal objetivo é auxiliar os trabalhadores na realização de atividades manuais sem o expor aos riscos de segurança que caracterizam os robôs tradicionais. A implementação de *cobots* visa promover o desempenho dos sistemas de produção e as condições de trabalho, combinando os pontos fortes de humanos e robôs (Rojas et al., 2020). A Figura 7, reúne as principais características do trabalho manual, automatizado e colaborativo.

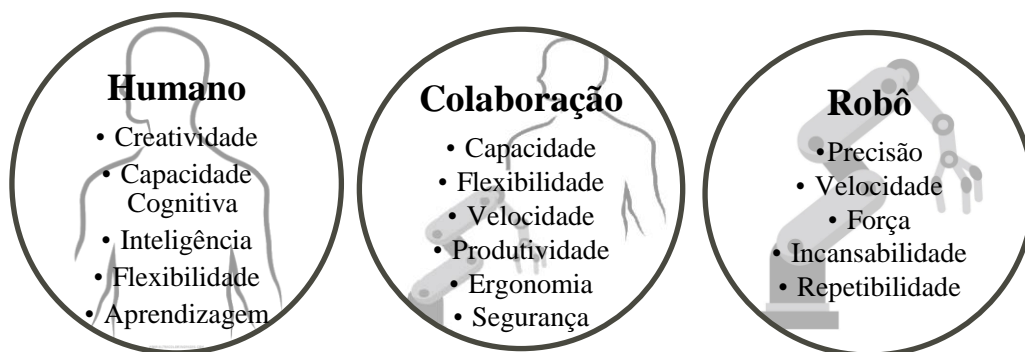


Figura 7 – Características da colaboração. Adaptado de: Hashemi-Petroodi et al. (2020).

Os *cobots* devem ser utilizados em (IFR, 2019)⁶:

- Tarefas monótonas e repetitivas: neste tipo de tarefas os *cobots* podem melhorar a produtividade de fabrico (exemplos: manter peças pesadas em posição para os colaboradores trabalharem nelas, colocar e aparafusar peças, aplicar adesivos e superfícies de revestimento, polir, realizar inspeções de qualidade);
- Linhas de produção que incluem trabalhadores: existem ainda tarefas fáceis para o humano, mas difíceis de automatizar eficazmente em termos de custos, beneficiando por isso estas linhas de produção do uso de *cobots* (tratamento de peças variadas, e de formas irregulares ou flexíveis, tarefas que exijam regulação contínua da pressão aplicada);
- Indústrias de produção variável: a programação de *cobots* é normalmente rápida, e por isso, nas indústrias em que os produtos produzidos mudam regularmente, o uso de *cobots* é viável, uma vez que, podem ser rapidamente reprogramados para uma nova tarefa.

Como referido, o efector final, colocado no braço do robô poderá apresentar diferentes configurações dependendo da tarefa a realizar. Da Figura 8, constam alguns exemplos de efetores finais. Além destes já estão a ser desenvolvidos modelos de efetores mais avançados as designadas *Soft Hands* (Figura 9). Estas são mãos robóticas macias, mas robustas e seguras, que podem ser usadas para múltiplas especificações de pega e manipulação de objetos (Zöllner et al., 2018).

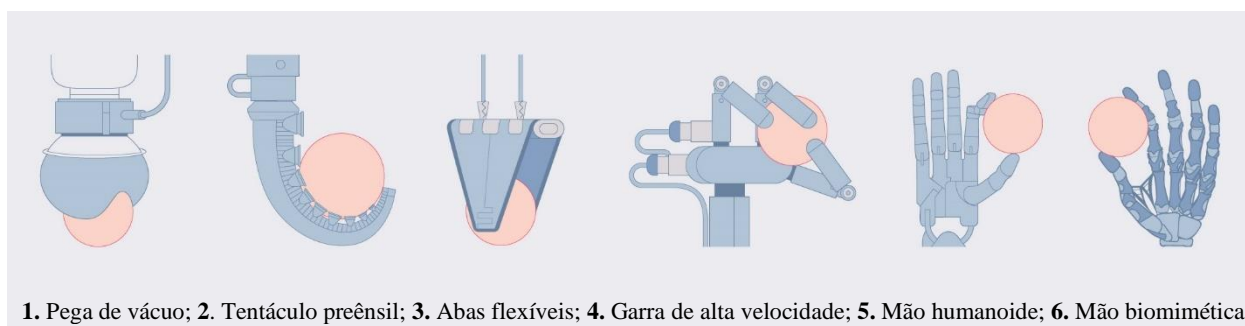


Figura 8 – Efetores finais para *cobots*. Adaptado de: Berreby (2020).



Figura 9 – *RBO Hand 2* (Berreby, 2020; Zöllner et al., 2018).

⁶ IFR. (n.d.). *IFR publishes collaborative industrial robot definition and estimates supply*. <https://ifr.org/post/international-federation-of-robotics-publishes-collaborative-industrial-rob>. Acedido a 14 de junho de 2021.

Os *cobots* podem ser classificados em três tipos: paralelo, quando o humano manipula o robô pelo seu terminal, exosqueleto, quando a interação é distribuída em vários pontos, e em série, quando os dispositivos são portáteis (Haddadin et al., 2013).

A colaboração humano-robô pode ser distinguida em troca ou partilha com efeito na automatização necessária. Na troca, a automatização deve ser concebida para que possa ocorrer a substituição completa do humano. Na partilha, a automatização deve ser concebida para todas as possíveis divisões de funções. Outro aspeto a considerar é a invocação da automatização, destas estratégias fazem parte: estratégia de evento crítico, estratégia baseada na medição e estratégia baseada no modelo. Na primeira, o evento é bem definido, sendo difícil o operador desempenhar corretamente as funções atribuídas. Na segunda, existem métodos para medir índices precisos, não sendo necessário sobrecarregar o operador. Na terceira estratégia, existem modelos de desempenho que podem representar uma grande variedade de operadores. Outro aspeto a considerar é a autoridade da decisão. Nesta, o humano pode ser a autoridade final em qualquer altura e ocasião, ou dependendo da situação, o humano ou o robô podem ter a autoridade final. Na teoria, uma atribuição adaptativa de funções é mais flexível, contudo desta podem ocorrer inconvenientes, sendo por isso esta considerada mais sofisticada, complexa e obscura (Maurice, 2015).

A nível de comportamentos do robô, podem ser divididos em (ISO/TS 15066:2016):

- Comportamentos operacionais: parametrização das capacidades do robô que define as suas propriedades particulares de movimento, controlo e segurança;
- Comportamentos reflexivos: comportamento reflexo associado a um sinal de ativação, indicativo de um determinado estímulo ou falha. Os estímulos, são entradas de perceção geral, enquanto as falhas são detetadas quer por estímulos processados quer por avarias gerais (por exemplo o colapso da comunicação ou violações do tempo de funcionamento).

São exemplo dos fatores relevantes ao desenvolvimento de ambientes colaborativos os representados na Figura 10. Aspetos referentes à SST e aos fatores humanos/ergonomia, são fundamentais. Os sistemas colaborativos podem proporcionar muitas vantagens, mas também desafios em termos de interação física entre humanos e robôs. Combinar segurança com ergonomia é de grande complexidade (Rojas et al., 2020).

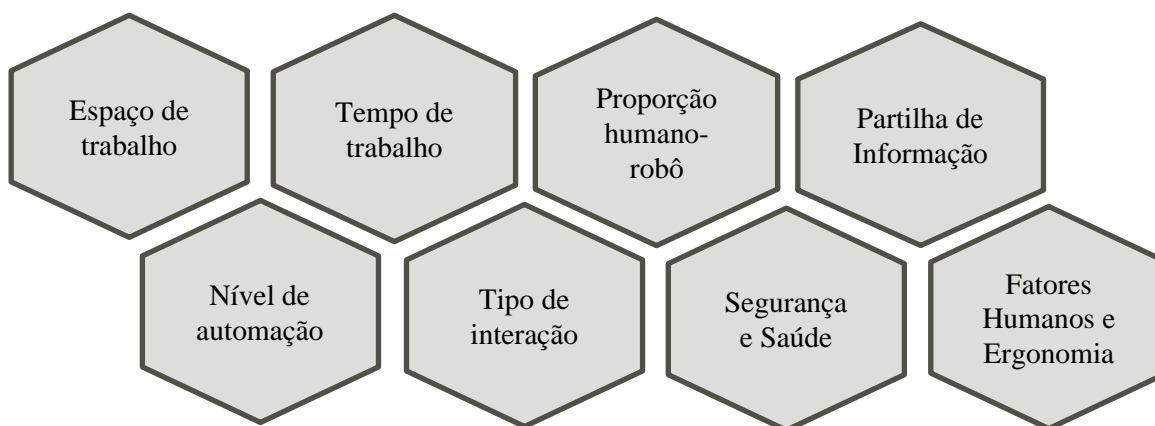


Figura 10 – Aspetos a considerar na colaboração. Adaptado de: Benos et al. (2020).

2.3 Segurança e Saúde Ocupacionais

2.3.1 Fatores Humanos e Ergonomia

A palavra ergonomia (ciência do trabalho), deriva do grego *ergon*, que significa trabalho, e *nomos*, que significa leis ou normas (International Ergonomics Association [IEA], n.d.)⁷. A ergonomia é disciplina científica que aborda a compreensão das interações entre o homem e outros elementos de um sistema. E ainda, a profissão que aplica teoria, princípios, dados e métodos, para conceber, otimizando, o bem-estar humano e o desempenho geral do sistema (Lasota et al., 2014). Esta disciplina inclui diversas dimensões: teoria, *design*, tecnologia, ambiente, gestão e filosofia. E diversos domínios: ergonomia física, cognitiva, da informação, do conhecimento, comunitária, de reabilitação, afetiva, ecológica, forense, entre outras (ISO 6385:2016).

Os métodos de análise ergonómica podem ser utilizados em três fases de conceção e avaliação centradas no homem, de acordo com a Figura 11. Na fase de estudo, para ajudar a compreender o problema ou a situação a resolver. Na fase de conceção da intervenção, para criar uma solução ou adaptar as soluções existentes ao problema em questão. E na fase de avaliação, para testar uma solução em laboratório, através de simulação ou ambiente real. As aplicações mais robustas destes métodos envolvem a sua combinação em todas as fases (Srinivas et al., 2017). São exemplos de métodos de análise ergonómica os constantes da Tabela 1 (Benos et al., 2020). Os princípios e metodologias do *design* participativo partem de uma perspectiva holística, aplicando-se em todos os desenhos de tarefas, postos de trabalho, produtos, ambientes e setores (Bridger, 2018). Aplicando-se tanto a nível de microergonomia (procedimentos, contexto, equipamentos e ferramentas), como de macroergonomia (organização do trabalho, profissões, papel na organização, tecnologia, comunicação e *feedback*) (Wilson, 2014).

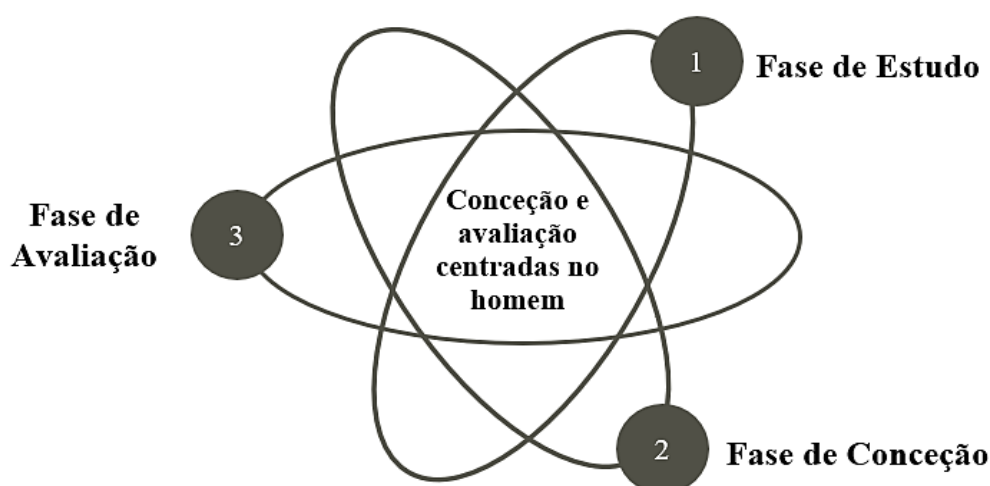


Figura 11 – Fases de conceção e avaliação. Adaptado de: Holden et al. (2021).

⁷ IEA. (n.d.). *What is ergonomics?* <https://iea.cc/what-is-ergonomics/>. Acedido a 14 de junho de 2021.

Tabela 1 – Métodos de análise ergonómica.

Abreviatura	Designação
CERA	Composite Ergonomics Risk Assessment
EAWS	Ergonomic Assessment WorkSheet
JSI	Job Strain Index
MAC	Manual handling Assessment Chart
OCRA	Occupational Repetitive Actions
OWAS	Ovako Working posture Analysis System
REBA	Rapid Entire Body Assessment
RULA	Rapid Upper Limb Assessment Apart

Após conduzida a análise ergonómica é necessário implementar programas eficazes. Destes programas deve fazer parte: o compromisso da gestão, a identificação de fatores de risco, a implementação de medidas preventivas e corretivas, o envolvimento dos trabalhadores, a avaliação da eficácia do controlo, a formação e a gestão médica adequada (Hedge et al., 2011).

Os termos ergonomia e fatores humanos são frequentemente trocados ou usados como unidade. A ergonomia envolve o bem-estar físico, mental e social dos trabalhadores, tendo em conta os fatores físicos, cognitivos, sociotécnicos, organizacionais, ambientais e outros relevantes, bem como as interações complexas entre humanos e outros humanos, o ambiente, ferramentas, produtos, equipamentos e tecnologia (IEA, n.d.)⁷. Assim sendo, a IEA classifica a ergonomia com uma interação de fatores físicos, cognitivos e organizacionais, como representado na Figura 12.

O estudo dos fatores humanos e da ergonomia tem contribuído significativamente para melhorias a nível de segurança e bem-estar dos operadores, assim como para a qualidade dos produtos e a produtividade do sistema. A sua integração na conceção de sistemas de trabalho é essencial para apoiar a sustentabilidade do trabalho, organizações e sociedades (Longo et al., 2021). Os princípios destes fatores têm por base valores sociotécnicos essenciais: humanos como ativos, tecnologia como ferramenta para ajudar os humanos, promoção da qualidade de vida, respeito pelas diferenças individuais e responsabilidade para com todas as partes interessadas (Bridger, 2018).



Figura 12 – Fatores relevantes para a ergonomia. Adaptado de: IEA (n.d.)⁷.

a) Fatores Cognitivos

Os fatores cognitivos focam-se nas interações mentais entre os humanos e os elementos do sistema, incluindo várias habilidades e processos mentais, nomeadamente, perceção, memória, raciocínio, resposta motora, e a nível de dupla a interação homem-computador, comunicação e o trabalho de equipa. É fundamental ter em consideração estes fatores na conceção de ambientes colaborativos de forma a garantir o bem-estar mental e social dos trabalhadores. Os indicadores analisados nesta temática incluem: *stress*, carga mental de trabalho, fiabilidade humana, tomada de decisão e o desempenho (IEA, n.d.⁷; Gualtieri et al., 2020a).

A carga de trabalho é um conceito multidimensional estando relacionada com o rácio entre as exigências e os recursos disponíveis. Ao nível dos fatores cognitivos a carga de trabalho cognitiva está relacionada com o desempenho do trabalhador, e depende das interações do trabalho real ou do trabalho percebido (volume de trabalho vs. recursos), das características do trabalho (complexidade, dificuldade, realização de uma tarefa ou de tarefas múltiplas) e das características do próprio trabalhador (anos de experiência, nível de competência) (Holden et al., 2021).

b) Fatores Organizacionais

Os fatores organizacionais abordam questões relacionadas com a otimização da organização do trabalho, em termos de maximização da eficiência das suas estruturas, políticas e processos, incluindo fatores como a participação, cooperação, sistema sociotécnico e ambiente. Pretende-se assim, otimizar a eficiência do processo produtivo, garantindo a satisfação e o empenho dos colaboradores. Os indicadores analisados nesta temática incluem: novos paradigmas de trabalho, organizações virtuais, teletrabalho, gestão de qualidade, comunicação, gestão de recursos humanos, *design* de trabalho e *design* de tempos de trabalho (IEA, n.d.⁷; Gualtieri et al., 2020a).

O conceito de ergonomia organizacional permite a transição de uma microergonomia centrada no individuo, para uma macroergonomia centrada na organização e no sistema. A macroergonomia, não substitui a microergonomia, mas parte desta para garantir a compatibilidade ergonómica ideal de diferentes componentes com a estrutura geral do sistema (Thatcher et al., 2018).

c) Fatores Físicos

Os princípios da ergonomia física são amplamente utilizados na conceção de locais de trabalho, de produtos industriais e de produtos para o consumidor. Os fatores físicos, analisam a componente física das atividades, e por isso, incluem a interação de características a nível da anatomia, antropometria, fisiologia e biomecânica, com o sistema de trabalho como iluminação, ruído, vibração, ambiente térmico, layout, ferramentas, mobiliário, forças, perigos (IEA, n.d.⁷; Gualtieri et al., 2020a; Holden et al., 2021).

A ergonomia física pode ser avaliada com base nos seguintes critérios (Holden et al., 2021):

- Iluminação necessária vs. iluminação fornecida;
- Níveis de ruído e outras condições disruptivas ou interruptivas;
- Exposição a vibrações;
- Posturas de trabalho, incluindo frequência e duração de cada postura, movimentos repetitivos, tarefas monótonas e movimentos extremos;
- Padrões de caminhada e distâncias percorridas;
- Carga física, fadiga e tensão física;
- Movimentação de cargas (postura, distância percorrida, forma e tamanho do objeto);
- Ângulos visuais e campo de visão;
- Condições perigosas no ambiente de trabalho (derrames, objetos/superfícies afiados).

Condições inadequadas ao nível da ergonomia física podem dar lugar ao aparecimento de LMERT. As LMERT têm origem em múltiplos fatores: pessoais (idade, género, peso), organizacionais (tempo de trabalho, pausas, trabalho noturno), psicossociais (capacidade de decisão, relação com os colegas) e biomecânicos, quando as solicitações biomecânicas excedem a capacidade física do indivíduo (posturas incorretas, posturas estáticas, movimentos repetitivos, forças extremas) (Luttmann et al., 2003).

De uma forma geral, as condições de trabalho melhoraram com o desenvolvimento da indústria. Apesar disso, a estatística indica que as LMERT continuam a ser um problema relevante com uma prevalência de 60,1% na Europa e de 51,8% em Portugal (dados referentes a 2013) (Crawford et al., 2020). As lesões musculoesqueléticas podem afetar os músculos, articulações, tendões, ligamentos e nervos, ocorrendo geralmente nas seguintes zonas: cintura, pescoço, pulso, braços e ombro (Park et al., 2015). São exemplos destas lesões as tendinites, lombalgias e a síndrome do túnel cárpico. Destas lesões pode resultar dor, rigidez e perda de força (Schneider & Irastorza, 2010).

Como referido a carga de trabalho é um conceito multidimensional. A carga de trabalho física é um parâmetro que pode contribuir para o aparecimento de LMERT. Esta pode ser avaliada através de métodos objetivos, incluindo medidas validadas de esforço, ou métodos subjetivos. Ao nível dos métodos subjetivos, medidas de avaliação da carga de trabalho física incluem a avaliação de variáveis fisiológicas (por exemplo, consumo de oxigénio, frequência cardíaca), resultados de tarefas (por exemplo, tempo para executar tarefas), resultados dos trabalhadores (por exemplo, fadiga) e o rácio entre as exigências físicas (por exemplo, carga de tarefas, frequência, duração, distância) e recursos disponíveis (por exemplo, capacidade de trabalho de uma pessoa, habilidade ou aptidão, acesso a equipamentos e ferramentas assistidas) (Heuer, 2001 ; Holden et al., 2021).

2.3.2 Segurança

A segurança pode ser definida como uma condição em que os perigos e situações que podem conduzir a danos físicos, psicológicos ou materiais são controlados para preservar a saúde e o bem-estar dos indivíduos e da comunidade (Maurice et al., 2001). A introdução de robôs industriais esteve sempre ligada a preocupações ao nível da segurança dos trabalhadores. Isto ocorreu

principalmente desde que as barreiras físicas entre humanos e robôs começaram a desaparecer (Figura 13). Inicialmente, a ideia de alcançar a segurança era separar ou criar barreiras físicas entre humanos e robôs. Esta suposição influenciou os estudos iniciais de segurança e as normas regulamentares desenvolvidas para a interação humano-robô. No entanto os cenários mudaram com a introdução de *cobots* (Bicchi et al., 2008)

A temática da interação humano-robô, tem sido bastante estudada e analisada. Quanto maior é a interação e a coexistência no mesmo ambiente de humanos e robôs, maior são os desafios à criação de ambientes seguros. As operações autónomas dos *cobots* introduzem novas vantagens em termos de eficiência e produtividade uma vez que as capacidades do humano e do robô se complementam contudo, também introduzem novas questões difíceis ao nível da segurança (Sauer et al., 2013; De Santis et al., 2008).

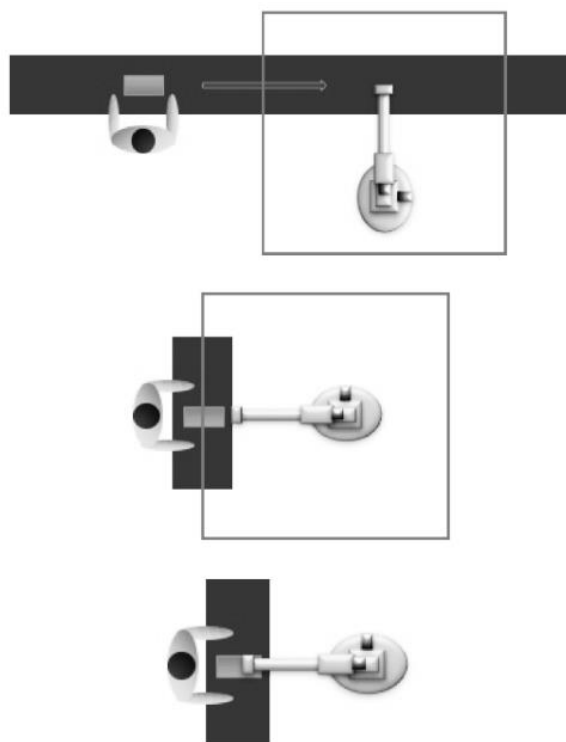


Figura 13 – Diminuição das barreiras nos ambientes de trabalho (Marvel et al., 2020).

A segurança nos ambientes colaborativos está associada à identificação e mitigação dos possíveis riscos de acidentes que podem pôr em perigo a integridade física dos trabalhadores (Benos et al., 2020). O conceito de risco está estritamente relacionado com a definição de perigo: uma fonte com potencial para causar consequências prejudiciais (Jensen, 2012). O risco reflete a probabilidade do evento ocorrer (Burt, 2001). A avaliação do risco é o procedimento que combina as especificações da máquina, com a identificação de perigos e estimativa do risco, com o objetivo de avaliar se as medidas preventivas e corretivas de redução de risco foram atingidas (ISO 12100:2010). A Figura 14, sumariza os conceitos de perigo, risco e consequência.

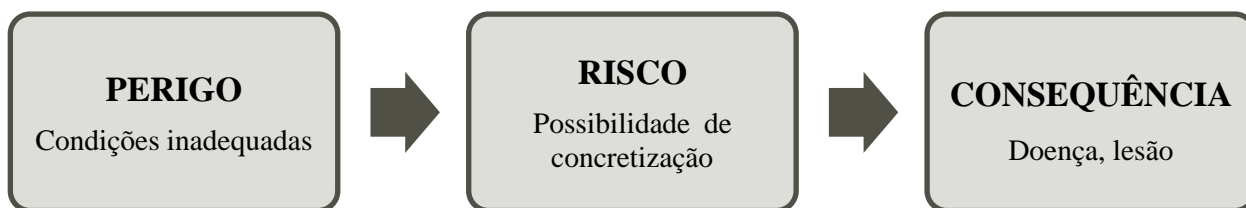


Figura 14 – Conceito de perigo, risco e consequência.

Nos sistemas robóticos tradicionais, as abordagens de limitação dos riscos mecânicos dependem da prevenção. A probabilidade de o evento ocorrer, será próxima de zero, se as barreiras adequadas tiverem sido utilizadas. Ao contrário dos sistemas isolados, nos sistemas de interação humano-robô a gestão de risco é um processo mais específico ao nível das tarefas, uma vez que, as formas de interação são muito variáveis. A gestão de risco, nestes cenários, torna-se assim, mais complexa, heterogênea e difícil de padronizar (Benos et al., 2020).

A presença em simultâneo de robôs e humanos no ambiente colaborativo promove a presença de riscos mecânicos. As partes móveis do robô, principalmente os braços, potenciam formas de interação física não funcional. Diferentes contactos inesperados e indesejados, podem gerar diferentes consequências, se os riscos mecânicos não forem devidamente identificados, avaliados e geridos. As consequências para os trabalhadores são geralmente imediatas com resultado em lesões (Koradecka, 2010). De acordo com Rauch et al. (2020), da interação humano-robô pode resultar: entalamento dos dedos do operador entre diferentes partes do robô, ou entre partes do robô e elementos exteriores; hematomas, cortes e perfurações, como resultado de contacto indesejável com o robô, com arestas afiadas do robô ou com obstáculos existentes no ambiente de trabalho; fraturas ósseas ou entorses por colisão com o robô ou cargas por este movimentadas. Apesar das colisões serem o principal risco mecânico na interação humano-robô, outros riscos mecânicos podem ter lugar, nomeadamente, pressão elevada de ejeção de fluidos e quedas ao mesmo nível (Koradecka, 2010).

As variáveis e condições comuns de contacto humano-robô são caracterizadas na Figura 15. O contacto pode ser transitório (impulsivo) ou quase estático, dependendo da distribuição da força (pressão) no tempo, com reflexo na intensidade de impacto. O parâmetro t^* representa o limite de tempo entre as duas fases de contacto. Na primeira fase (impacto do contato), ocorre o máximo de transferência de energia entre o robô e o corpo humano. Esta fase está principalmente relacionada com a velocidade do robô. Na segunda fase, ocorre a retenção do contato, representando esta a progressão da troca de energia após o impacto. Esta fase está principalmente relacionada com as características mecânicas das partes de contato (massa e rigidez). O parâmetro P_{max} representa o limite superior de pressão, este limite divide a região inaceitável da região aceitável. Teoricamente, um valor inaceitável de pressão significa que o contato é inseguro porque a dor associada à parte do corpo envolvida não é admissível. A zona de incerteza representa a região em que os valores limite de pressão não estão exatamente definidos sendo necessário considerar essa incerteza na avaliação de risco (Vicentini, 2017).

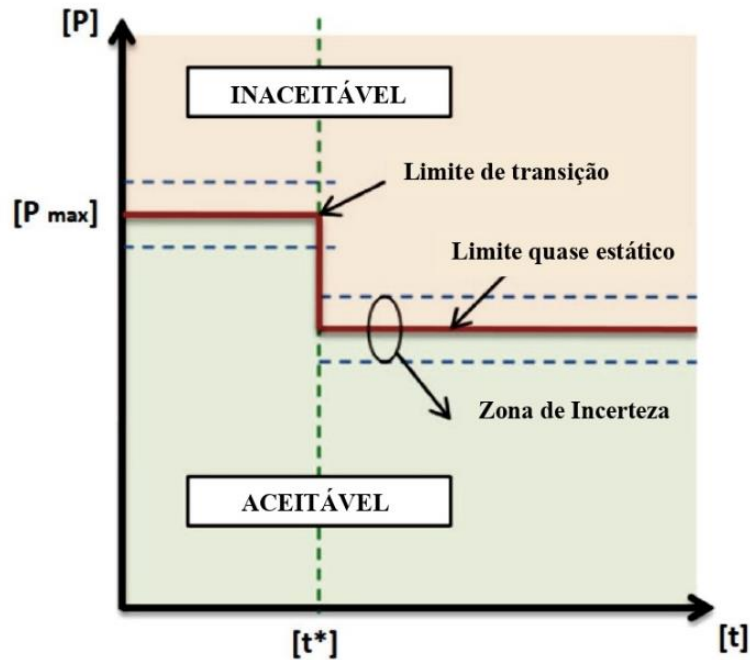


Figura 15 – Variáveis e condições de contacto. Adaptado de: Gualtieri et al. (2020a).

De acordo com a ISO/TS 15066:2016, de forma a garantir a segurança dos operadores os seguintes métodos devem ser tidos em consideração:

- Paragem monitorizada de segurança: o movimento do robô é interrompido, através do uso de *software* e sensores, quando o trabalhador entra no espaço de trabalho. O robô volta a funcionar depois do trabalhador sair da zona de trabalho. Assim, na ausência do humano, o robô pode executar a sua tarefa de forma não colaborativa;
- Orientação manual: o robô é totalmente controlado pelo humano a uma velocidade segura. Quando o operador deixa de utilizar o dispositivo de orientação manual, o robô volta ao modo de paragem monitorizada de segurança e pode retomar a sua tarefa interrompida, desde que o trabalhador saia do espaço de trabalho;
- Monitorização da velocidade e da separação: humanos e robôs podem trabalhar simultaneamente no mesmo espaço de trabalho, no entanto, apenas se os limites de segurança forem cumpridos. O sistema de controlo deve manter uma combinação de distância e velocidade seguras, quando o humano coexiste na mesma área de trabalho, para evitar potenciais formas de contacto. No caso de a distância de separação ser mais baixa que a distância de proteção pré-determinada, o robô termina a sua operação;
- Limitação de potência e força: deve ser realizada uma avaliação do risco biomecânico, de modo a identificar os limites seguros de pressões e forças durante o contacto físico. Para tal, o sistema de controlo do robô atrasa a sua velocidade para que os níveis de pressão sobre o contacto potencial estejam entre os limites de segurança para evitar lesões.

2.4 Desafios e Oportunidades da Robótica para a Segurança e Saúde Ocupacionais

2.4.1 Fatores Organizacionais

Nos anos 80, o Japão e a Itália, automatizaram com sucesso as suas linhas de produção na indústria automóvel, com as tarefas a serem realizadas quase na sua totalidade por robôs. Por outro lado, a empresa *General Motors* não conseguiu com sucesso substituir os humanos por robôs, afastando-se do uso de robôs e apostando na formação dos trabalhadores (Inagaki, 2003). No livro “*A Textbook on Industrial Robotics*”, Ganesh Hegde apresenta os aspetos que considera ser vantajosos na utilização de robôs, destacando-se a segurança ambiental, produtividade, custos de produção a longo prazo, exatidão, repetibilidade e qualidade do produto (Bostelman & Falco, 2012).

Os robôs tem a função de ser máquinas com inteligência adequada para realizar processos específicos mais rápidos, mais baratos, mais seguros e com melhor qualidade (Hegde, 2006). O mercado tem sofrido alterações ao longo dos anos. Por um lado, determinados produtos têm tempos de vida mais curtos e a produção em série é uma realidade. As empresas que não se conseguem adaptar, não conseguem ser competitivas. Por outro lado, certas empresas necessitam de fabricar produtos únicos a preços razoáveis. Todas estas condicionantes levaram à necessidade de adaptar e modernizar as indústrias. Com a introdução de novas tecnologias, nomeadamente de *cobots*, os empregadores encontram vantagens a nível de produção, sustentabilidade e competitividade (Meier, 2016).

São consideradas barreiras à implementação destas novas tecnologias: falta de uma compreensão clara sobre os benefícios, desafios com o fabrico no que diz respeito ao planeamento da produção, elevado custo de implementação, conceção de novos modelos de negócio para apoiar os sistemas ainda não estruturados, falta de infraestruturas e recursos, falta de competências digitais, baixo nível de desenvolvimento da tecnologia, riscos de quebras de segurança, perda de privacidade, confiança e confidencialidade, falta de normas, regulamentos e formas de certificação, deslocação de recursos humanos, perturbação dos empregos existentes e resistência à mudança dos colaboradores (Mateus et al., 2019). Certas tecnologias geram enormes quantidades de dados pessoais, relativos ao agregado familiar, saúde, condição financeira, que outras empresas podem usar para ganhar vantagem competitiva, o que põem em causa a proteção de dados, e questões ao nível da segurança e privacidade. Estes fatores levam à resistência por parte das empresas em adotar determinadas tecnologias. Estas barreiras podem ser ultrapassadas pela incorporação de sistemas de segurança (Lee & Lee, 2015).

A customização em massa obriga os sistemas de produção a serem altamente flexíveis, e a lidar com lotes pequenos e a baixo custo. Os robôs devem ser versáteis de forma a tornar os investimentos da automatização economicamente viáveis. Isto é principalmente importante no fabrico de produtos com ciclos de vida curtos, e onde por isso, ocorrem mudanças frequentes nos processos produtivos. Nestes contextos os humanos são uma mais valia, dado que são rápidos na

interpretação de situações não planeadas, e capazes de lidar com a flexibilidade e complexidade de determinadas tarefas (Lee & Lee, 2015). Frequentemente, os robôs são mais vantajosos em tarefas repetitivas e simples, e os humanos em tarefas mais variáveis e complexas, difíceis de programar antecipadamente. Os *cobots* são vantajosos, na medida que permitem tirar partido do melhor das duas partes, podendo reduzir o tempo total de produção, mesmo na produção de pequenos lotes (Antonelli et al., 2016).

Apesar dos robôs puderem ser também vistos como uma mais-valia para a atividade industrial, se a sua implementação não for eficazmente realizada, estes podem ser percecionados como substitutos do trabalhador, com resultado na perda de postos de trabalho, desvalorização de determinadas profissões, diminuição da população empregada e na degeneração de capacidades e competências humanas. Em vez disso, a introdução de robôs na industria deve ser vista como um auxílio à operação (Antonelli et al., 2016; Hegde, 2006; Rampersad, 2020). O desenvolvimento dos robôs e a sua introdução nas empresas irá levar a alterações a nível das profissões. É então por isso importante desenvolver políticas de adaptação e sustentabilidade ao nível do mercado de trabalho (Servoz, 2019). Os robôs irão realizar tarefas de rotina permitindo aos humanos realizar outro tipo de tarefas mais sociais e intelectuais. As profissões da área das tecnologias irão experienciar um aumento a nível salarial (Hegde, 2006).

2.4.2 Fatores Cognitivos

Os parâmetros segurança e conforto são priorizados, contudo, parâmetros como a carga mental da interação também devem ser analisados. Tarefas menos intuitivas, onde o operador decide quando ocorrerá a interação com o robô, estão comumente ligadas a cargas metais de trabalho superiores. Nestas, o operador tem que se adaptar ao movimento do robô (Sauer et al., 2013). Das obrigações do empregador, descritas na Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro e respetivas alterações, consta a adaptação do trabalho ao homem, nomeadamente, na conceção dos postos de trabalho, na escolha de equipamentos de trabalho e aos métodos de trabalho e produção. Esta adaptação é um dos meios de redução dos riscos psicossociais.

Pesquisas ao nível da psicofisiologia, tem sido desenvolvida nos últimos anos, através de métodos de análise como a eletroencefalografia, eletrocardiografia e condução da pele, que permitem estimar estados cognitivos e afetivos. O estado cognitivo é a ação mental de adquirir conhecimento através de pensamentos, experiência e sentidos. Há muitos processos e funções que contribuem para um estado cognitivo como a atenção, memória, raciocínio e resolução de problemas. Os esforços psicológicos são as ações cognitivas executadas para completar uma tarefa. O estado emocional é uma experiência consciente relativamente breve que resulta em intensa atividade mental. A carga cognitiva refere-se à quantidade usada de recursos de memória de trabalho (Dehais et al., 2011).

Operadores responsáveis por sistemas altamente automatizados, estão expostos a vários fatores causadores de stress, com influencia na segurança, desempenho e bem-estar dos mesmos. Assim sendo, é importante perceber como é possível adaptar os modos de automatização, e de que forma

atenuar os efeitos adversos da introdução destes sistemas. Dos causadores de stress, em indústrias altamente automatizadas, são exemplos: falhas na automatização, trabalho noturno, horários de trabalho prolongados e ruído (IFA, 2013).

Movimentos muito rápidos do robô podem levar a elevadas cargas de trabalho e elevados níveis de ansiedade para os operadores. Movimentos imprevisíveis têm impacto negativo no desempenho do robô. Posto isto, robôs de elevada velocidade e que realizem movimentos imprevisíveis devem ser evitados. Por outro lado, o desempenho do robô é inferior a velocidades de trabalho demasiado baixas. A ansiedade para o operador também aumenta com a diminuição da distância entre este e o robô (Maurice et al., 2016).

A estatística da Comissão Europeia, revela que existe por parte dos europeus, na sua generalidade, uma visão positiva em relação aos robôs. Apesar de não haver uma grande aceitação por parte dos humanos no que se refere a robôs sociais, no âmbito industrial a realidade é outra. Posto isto, da amostra que deu lugar à análise estatística efetuada em 2012, apenas 4% considera que os robôs devem ser banidos de atividades industriais (Savela et al., 2018). O fator aceitação de robôs no local de trabalho, relacionado com aceitação das tecnologias, pode ser avaliado com base em critérios como: atitude em relação às tecnologias, experiência na utilização de robôs, fatores de facilitação, normas sociais, confiança, percepção de utilidade, facilidade de utilização e apreciação (Zeeshan Baig & Kavakli, 2019).

2.4.3 Fatores Físicos

O impacto dos fatores biomecânicos pode ser atenuado com a introdução de robôs que realizem as tarefas mais exigentes a nível físico. Contudo, muitas tarefas não podem ser totalmente automatizadas, devido aos custos, tenacidade, imprevisibilidade ou conhecimento humano necessário. Nestes cenários, os *cobots* são uma solução que permite a redução da carga física do trabalho (Luttmann et al., 2003). Ao nível das LMERT os *cobots* podem também contribuir na redução de posturas incorretas e na otimização de movimentos de elevada precisão (Maurice, 2015).

A simulação da colaboração industrial para a avaliação ergonómica é pouco apresentada na literatura (Erden & Marić, 2011). Posto isto, torna-se importante o desenvolvimento de ferramentas que otimizem os benefícios introduzidos pela utilização de *cobots* a nível ergonómico. Algumas destas ferramentas podem atuar na adaptação automática à atividade dos indicadores ergonómicos. Destes são exemplo indicadores de restrição, que correspondem às medições articulares locais em termos de posição, velocidade, aceleração, binário e potência. E indicadores orientados para o objetivo, que quantificam a capacidade de executar uma tarefa confortavelmente, avaliando o corpo todo (Maurice, 2015).

2.4.4 Segurança

Às máquinas industriais são reconhecidos os perigos: mecânicos, elétricos, térmicos, exposição ao ruído, vibrações, radiação, perigos relacionados a matérias e substâncias, e perigos do ambiente de trabalho (Mateus et al., 2019). Os perigos associados à utilização de robôs são difíceis de identificar e listar, uma vez que dependem do tipo de sistema robótico. Assim, as condições perigosas associadas a um robô e o cálculo do risco, irão variar com o tipo de robô, o grau de automatização, a função a que se destina, o tipo de instalação, programação, operacionalização e manutenção, entre outros fatores intrínsecos a cada sistema robótico (ISO 12100:2010).

A avaliação de riscos no âmbito da robótica deve ser compreensiva e exaustiva, e deve facilitar a exploração de diferentes variantes e configurações do sistema. Na interação humano-robô as avaliações de risco são desafiantes, na medida em que a elevada imprevisibilidade do comportamento humano traz desafios na identificação de todas as possíveis situações perigosas. Uma das principais limitações, é a seleção de estratégias ineficazes ou excessivas (ISO 10218-1:2011). Assim, torna-se difícil encontrar um equilíbrio entre as características de segurança e as características de desempenho. Das tecnologias existentes, apenas os atuadores eletromagnéticos, hidráulicos e pneumáticos têm a potência e a capacidade necessária para tarefas de manipulação robótica. Infelizmente, todos estes métodos de atuação apresentam deficiências graves, limitando as suas características inerentes à segurança e/ou desempenho (Vicentini et al., 2020).

Prevê-se que as formas de ver a segurança na utilização de robôs e as normas técnicas existentes, com foco na SST, tenham que ser repensadas e reelaboradas. Isto acontecerá, uma vez que futuramente, as interações entre humanos e robôs serão ainda mais diversificadas, pelo surgimento de novas formas de trabalho associadas ao desenvolvimento da autonomia robótica. Diferentes áreas devem atuar para a prevenção dos riscos, nomeadamente: tecnologia, regulamentação e *interface* (Zinn et al., 2004).

A utilização de *cobots* traz vantagens ao nível da amplificação da força, mascaramento da inércia, orientação através de superfícies e caminhos virtuais, *interface* para sensores auxiliares para fins especiais e *interface* para sistemas de informação à prova de erros e registo de dados (EU-OSHA, 2015). Fatores ambientais que afetam a saúde dos trabalhadores, como poluição, ruído e luminosidade, não são fatores de risco para a atividade do robô (Colgate et al., 2003).

Dos acidentes com origem em colisões entre robôs e humanos, devido por exemplo a impactos rápidos, aperto dinâmico e quase estático, ou contacto com superfícies cortantes e/ou perfurantes, várias lesões podem ocorrer (Hegde, 2006). Trabalho tem sido desenvolvido na minimização dos efeitos negativos das colisões humano-robô, bem como no seu evitamento. Estratégias ao nível do torque com compensação gravítica, podem reduzir a força do exercida no impacto (Haddadin et al., 2013). Contudo, tem sido demonstrado que a segurança ao nível do evitamento das colisões, não é suficiente para garantir o conforto do trabalhador (Haddadin et al., 2008).

Os *cobots* são uma tecnologia emergente, e por isso, a introdução destes tem de visar sempre a segurança dos operadores. Para isso, sistemas de segurança tem que ser implementados. Sendo que, os *cobots* apresentam mecanismos de segurança inerentes, não sendo necessários dispositivos

de segurança externos. Nestas situações de colaboração deixam de existir barreiras físicas de segurança, que passam a ser substituídas por sensores e sistemas de controlo. Para conceber virtualmente estes sistemas de trabalho, novos *softwares* de planeamento precisam de ser desenvolvidos, integrando o planeamento do movimento do robô e a simulação humana (Meisner et al., 2008). Dos mecanismos que têm sido desenvolvidos, estes podem atuar ao nível da restrição da velocidade e alcance de movimento do robô. Estes sistemas de segurança permitem que as operações automáticas não sejam interrompidas, obtendo-se assim, maiores índices de produtividade. Permitem ainda, a diminuição dos erros e por isso, produtos de melhor qualidade (Busch et al., 2013; Morioka & Sakakibara, 2010; Weckenborg & Spengler, 2019).

De forma a potenciar a segurança nas colisões humano-robô, medidas ao nível do *design* devem ser implementadas. Destas são exemplos: ligações e atuadores leves, arestas arredondadas, juntas compatíveis, cobertura das ligações do robô com materiais macios, e *design* de robôs compactos e leves (Haddadin et al., 2013).

Os *softwares* de segurança implementados ao nível dos robôs, são compostos por diferentes subsistemas de troca de informação, nomeadamente: programa principal, funciona como a lógica principal do sistema, *software* de captura de movimento, responsável por registar a posição mais recente do humano, *software* do robô, que ajusta a velocidade do robô de acordo com a informação recebida a nível da distância do humano, e espaço de trabalho virtual, responsável por construir uma representação virtual do espaço de trabalho partilhado entre o humano e o robô (Haddadin et al., 2013).

2.4.5 Análise SWOT

A análise SWOT é uma ferramenta de planeamento e gestão para organizações. Esta análise envolve quatro áreas distribuídas por duas dimensões, nomeadamente: Forças (*Strengths*) e Fraquezas (*Weaknesses*), fatores internos atribuídos à organização, Oportunidades (*Opportunities*) e Ameaças (*Threats*), fatores externos atribuídos ao exterior (Gurel, 2017). Na Figura 16, é apresentada a análise SWOT no que se refere à robotização das indústrias, sejam estas a nível organizacional, físico, cognitivo ou de segurança.

Em resumo, nas forças incluem-se a maior competitividade das empresas, uma vez que produzem um produto de melhor qualidade, em maior quantidade e a um menor custo. Aspectos de prevenção e saúde e bem-estar dos trabalhadores são otimizados (incluindo a redução de LMERT). Nas fraquezas as exigências a nível de custos de implementação, infraestruturas e recursos necessários são aspetos a considerar, assim como, a possibilidade de ocorrerem acidentes e de impactos psicológicos nos trabalhadores devido a resistências à mudança.

Quanto aos fatores externos, nas oportunidades incluem-se aspetos ambientais como a sustentabilidade e a segurança ambiental, e ainda económicos com o aumento de salários. Quebras na proteção de dados, a falta de normas e regulamentação legal, e a ideia de que os trabalhadores serão substituídos, perdendo assim capacidades e competências, são as principais ameaças a considerar.

Figura 16 – Análise SWOT: Robotização das indústrias.

ANÁLISE SWOT		
	POSITIVO	NEGATIVO
AMBIENTE INTERNO	<p>Strengths (Forças)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Maior produtividade • Produção de menor custo • Produto de melhor qualidade • Diminuição dos erros • Maior competitividade • Otimização de movimentos de precisão • Prevenção da saúde e bem-estar dos trabalhadores • Mecanismos de segurança inerentes • Redução de LMERT 	<p>Weaknesses (Fraquezas)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elevado custo de implementação • Falta de infraestruturas e recursos • Conceção de novos modelos de negócio • Acidentes por contacto • Resistência à mudança • <i>Stress</i>
AMBIENTE EXTERNO	<p>Opportunities (Oportunidades)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sustentabilidade • Segurança Ambiental • Aumento salarial em algumas profissões 	<p>Threats (Ameaças)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quebras de segurança • Deficiente desenvolvimento da tecnologia • Falta de normas e regulamentação • Substituição dos trabalhadores • Diminuição da população empregada • Degeneração de capacidades e competências humanas

2.5 Enquadramento Legal e Normativo

Em Portugal, o enquadramento legal da atividade laboral, é estipulado pelo Código do Trabalho, que contempla os direitos e deveres dos trabalhadores e demais partes integrantes. A promoção da SST, incluindo a prevenção, é um requisito obrigatório para as empresas, previsto no Código do Trabalho.

Assim sendo, a Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro e respetivas alterações, aprova o regime jurídico de promoção de SST. Para diversos fatores de risco, que devem ser considerados pela SST, estão disponíveis diferentes documentos legais e normativos, que devem ser seguidos, de forma a assegurar a saúde e segurança dos trabalhadores.

No que se refere à segurança de máquinas e equipamentos, existe legislação específica, nomeadamente:

- Diretiva 2006/42/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 17 de maio de 2006, que altera a Diretiva 95/16/CE, relativa à aproximação das legislações dos Estados-Membros respeitantes às máquinas.
- Decreto-Lei n.º 103/2008, de 24 de junho, com alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 75/2011, de 20 de junho, estabelece as regras relativas à colocação no mercado e entrada em serviço das máquinas e respetivos acessórios.
- Decreto-Lei n.º 214/95, de 18 de agosto, estabelece as condições de utilização e comercialização de máquinas usadas, visando a proteção da saúde e segurança dos utilizadores e de terceiros.

- Decreto-Lei n.º 128/93, de 22 de março, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 139/95, de 14 de junho, e pelo Decreto-Lei n.º 374/98, de 24 de novembro, estabelece as prescrições mínimas de segurança a que devem obedecer o fabrico e comercialização de máquinas, de instrumentos de medição e de equipamentos de proteção individual.
- Portaria n.º 172/2000, de 23 de março, define a complexidade e características das máquinas usadas que revistam especial perigosidade.
- Decreto-Lei n.º 50/2005, de 25 de fevereiro, estabelece as prescrições mínimas de segurança e de saúde para a utilização pelos trabalhadores de equipamentos de trabalho.
- Decreto-Lei n.º 349/93, de 1 de outubro, estabelece as prescrições mínimas de segurança e de saúde respeitantes ao trabalho com equipamentos dotados de visor.
- Portaria n.º 989/93, de 6 de outubro, estabelece as normas técnicas de execução das prescrições mínimas de segurança e de saúde respeitantes ao trabalho com equipamentos dotados de visor.

De acordo, com o Decreto-Lei n.º 103/200, de 24 de junho, uma máquina é um conjunto de peças ou componentes em que pelo menos um deles é móvel, ligados entre si. Está tem um fim específico e é acionada por outro sistema que não a força humana ou animal. Percebe-se assim, que há diferenças entre máquina e robô, e, portanto, a legislação atual não é suficiente para estabelecer as prescrições mínimas de segurança na utilização de robôs.

Apesar de não existir ainda em Portugal, legislação específica relativa aos critérios de segurança na utilização de robôs, a esta temática já foi reconhecida grande importância por parte do Parlamento Europeu. É objetivo, fomentar a cooperação entre os países e as suas empresas, sendo uma das possíveis ações a criação de uma Agência Europeia para a robótica, com o propósito de garantir o aconselhamento técnico, ético e regulamentar, uma vez que, o desenvolvimento trará questões a estes níveis. Parte-se do princípio que o desenvolvimento da robótica levará à criação de legislação nacional ao nível dos diferentes países, e que diferenças a este nível possam condicionar o desenvolvimento destas tecnologias. Posto isto, a abordagem europeia é considerada uma mais valia (European Commission, 2012).

No âmbito legislativo será ainda importante ter em consideração o Regulamento (UE) 2016/679 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de abril, relativo ao tratamento e circulação de dados pessoais, transposto a nível nacional pela Lei n.º 58/2019, de 8 de agosto. Esta legislação enquadra-se na temática abordada, uma vez que, o desenvolvimento de tecnologias que comunicam e com acesso a diversas bases de dados, pode comprometer a regras da proteção de dados.

A nível da normalização, a ISO 8373:2012: *Robots and robotic devices — Vocabulary*, especifica o vocabulário relacionado com os robôs e os seus dispositivos aplicados tanto em ambientes industriais como em ambientes não industriais. Os termos descritos são agrupados em cláusulas pelos principais tópicos da robótica.

A ISO 10218 é referente aos perigos inerentes aos robôs industriais e os seus sistemas, o reconhecimento destes perigos levou ao desenvolvimento desta norma. A ISO 10218-1:2011: *Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 1: Robots*, aborda os perigos, situações perigosas e eventos relacionados com os robôs industriais e os seus sistemas.

A ISO 10218-2:2011: *Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 2: Robot systems and integration*, aborda os perigos, relacionados com os sistemas de robôs industriais, quando integrados e instalados em células e linhas de robôs industriais.

A ISO/TS 15066:2016: *Robots and robotic devices — Collaborative robots*, especifica os requisitos de segurança para sistemas de robôs industriais colaborativos e o ambiente de trabalho e complementa a ISO 10218 parte 1 e parte 2.

Na Figura 17 encontra-se representado um esquema dos principais documentos legais e normativos nesta temática, nomeadamente a legislação europeia e legislação nacional de acordo com o referido anteriormente, e ainda as normas descritas classificadas em (Gualtieri et al., 2020a):

- Normas Tipo A: metodologias e princípios gerais para a conceção e construção de máquinas, sendo os requisitos básicos de segurança válidos para todo o tipo de máquinas;
- Normas Tipo B: requisitos genéricos de segurança que são comuns para a conceção da maioria das máquinas;
- Normas Tipo C: requisitos detalhados de segurança validos para máquinas em particular ou grupos delas. Normas de segurança das máquinas que preveem a conformidade para as necessidades legais essenciais.

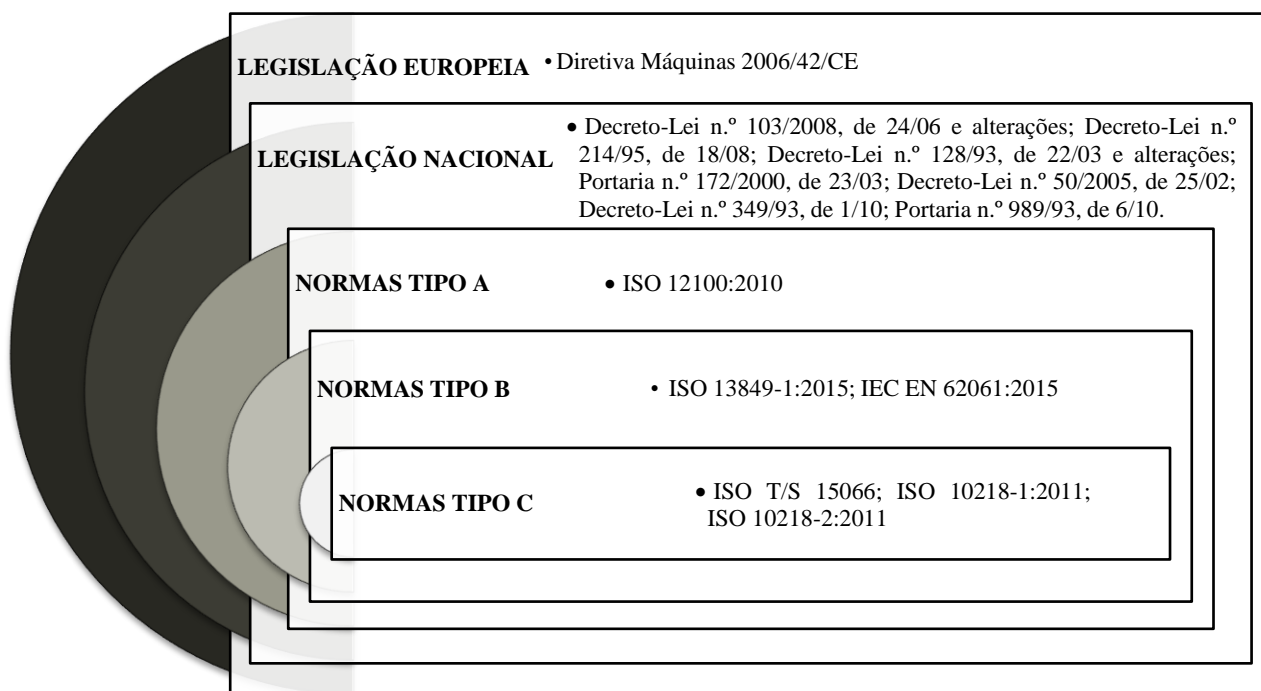


Figura 17 – Enquadramento legal robótica. Adaptado de: Gualtieri et al. (2020a).

2.6 Objetivos da Dissertação

O objetivo desta dissertação foi desenvolver um modelo conceptual para a criação de ambientes de trabalho colaborativos, tendo por base uma revisão sistemática da literatura. Nesta revisão sistemática foram identificados os fatores organizacionais, físicos, cognitivos e de segurança com influencia na interação humano-robô e que devem ser considerados na criação de estações de trabalho colaborativas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Protocolo

As revisões sistemáticas da literatura permitem identificar, avaliar e interpretar dados disponíveis de diversos estudos científicos relacionados com uma temática específica em estudo. Esta metodologia além de rigorosa é replicável (Kitchenham, 2004). A pesquisa bibliográfica realizada teve por base a metodologia de revisão sistemática *PRISMA Statement*, de modo a garantir a reprodutibilidade e rastreabilidade da mesma.

De forma a dar resposta à questão em análise, foram seguidas as etapas:

1. Definição dos objetivos de pesquisa: que se prendem aos objetivos da dissertação apresentados;
2. Definição das palavras-chave; que representam a principal condicionante dos artigos que vão resultar da pesquisa bibliográfica;
3. Seleção das bases de dados a serem utilizada: escolhidas com base nas áreas temáticas que abordam, na sua qualidade e referenciação;
4. Definição dos critérios de elegibilidade: que restringiram os artigos a ser incluídos na revisão sistemática da literatura, devendo por isso, ser adequados aos objetivos da mesma;
5. Gestão dos dados resultantes: como auxílio à limitação dos dados, à sua melhor apresentação e garantia de qualidade dos mesmos.

3.2 Fontes de Informação

Como fontes de informação foram utilizadas as bases de dados, *Scopus* e *Web of Science*.

A *Scopus* é a maior base de dados de resumos e citações para literatura revista pelos pares, sejam revistas científicas, livros ou artigos de conferencia. Abrange conhecimento nas áreas da ciência, tecnologias, medicina, ciências sociais, arte e humanidades.

A *Web of Science* é a base de dados de editores independentes e de citação global mais confiável do mundo, sendo uma base de dados multidisciplinar.

3.3 Estratégias de Pesquisa

Foram utilizadas as palavras-chave, constantes da Tabela 2, e respetivos sinónimos. Estas foram relacionadas com recurso aos termos booleanos *AND* e *OR*, de forma que os artigos resultantes da pesquisa fossem de encontro à temática em análise.

Tabela 2 – Palavras-chave e sinónimos utilizados na pesquisa bibliográfica.

Palavras-Chave	Sinónimos
Cobot	<i>human robot interaction; human-robot interaction; human-interactive robot; human-interaction; HRI; collaborative robot; collaborative human-robot; human-robot collaborative workstation; Co-robotic; Cobot/cobotic; Light robot</i>
Industry	<i>Manufacturing/ Manufacture; Factory/ies; Production</i>
Task	<i>Activity; Work; Assignment; Job</i>
Allocation	<i>Assignment; Share</i>
Criteria	<i>indicator*; dimension*; determinant* ; factor*</i>
Requirement	
Design	<i>plan; map; delineation; representation; model; proposal; method; framework interactivity; interconnection; interlinkage; relatedness; interdependence; association; link; relations; connection; interface; cooperation; coordination; collaboration</i>
Interaction	

Na *Scopus*, a pesquisa foi realizada ao nível do título, resumo e palavras-chave, tendo sido utilizada a seguinte expressão: *((human and robot and interact*) or (human-robot and interact*) or (human-interact* and robot) or (human-interact*) or (hri or collab* and robot) or (collab* and human-robot) or (human-robot and collab* and workstation*) or (co-robotic) or cobot or cobotic or (light and robot*)) and (manufactur*or factor* or product* or industr*or lab*) and (activit*or work*or assignment* or job* or task*) and (allocat* or assign* or share) and (criteri*or indicat*or dimension*or determinant*or factor*) and (design or map or representation or model or proposal or method or framework))*.

Na *Web of Science*, a pesquisa foi realizada ao nível do tópico, tendo sido utilizada a seguinte expressão: *(human robot interact* OR human-robot interact* OR human-interact* robot OR human-interact* OR HRI OR collab* robot OR collab* human-robot OR human-robot collab* workstation* OR Co-robotic OR Cobot OR cobotic OR light robot*) AND (Manufactur* OR factor* OR producti* OR industr* OR Lab*) AND (activity OR work OR assignment OR Job OR Task) AND (allocat* OR assign* OR share) AND (criteri* OR indicat* OR dimension* OR determinant* OR factor*) AND (design OR map OR representation OR model OR proposal OR method OR framework)*.

Apenas artigos publicados à menos de 10 anos foram considerados. Assim, foram incluídos todos os artigos constantes das bases de dados desde 2010 até 2020, inclusive. Não foram impostas restrições ao nível do tipo de documento, tendo sido incluídos artigos de revistas científicas e artigos de conferência. Apenas artigos escritos na língua inglesa foram incluídos nos critérios de pesquisa. Os artigos que ainda se encontravam em fase de validação foram excluídos. Assim como artigos das áreas de Ciências da Saúde - Medicina, Ciências – Bioquímica, Genética e Biologia Molecular, e Ciências da Vida – Neurociência.

3.4 Critérios de Elegibilidade

Ao total de artigos resultantes das bases de dados, foram removidos os artigos duplicados. Estes artigos resultantes foram analisados pela leitura do título e resumo. Os artigos não considerados relevantes, pela deteção de termos não adequados à temática, foram excluídos. Quando o título

e/ou resumo não permitiram aferir com convicção a relevância do artigo, o artigo seguiu para a próxima etapa.

Os restantes artigos foram analisados pela leitura do texto integral, sendo aplicados os seguintes critérios de exclusão:

- Estudos que não se centraram na interação humano-robô (8);
- Estudos que não se centraram nos fatores cognitivos, físicos, organizacionais ou de segurança que influenciam a interação humano-robô (37);
- Estudos cuja área de aplicação não fosse o setor industrial (21).

A categorização dos estudos em fatores cognitivos, fatores físicos, fatores organizacionais ou segurança, foi realizada com base no principal objetivo dos mesmos. Esta categorização (Figura 19) decorreu de uma adaptação do esquema da IEA (n.d.)⁷ constante da Figura 12 na secção 2.3.1.

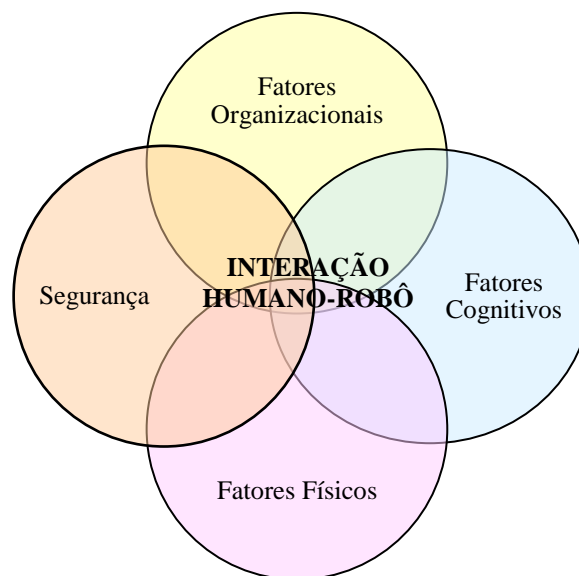


Figura 18 – Fatores com influencia na interação humano-robô.

3.5 Gestão de Dados

De forma analisar as informações obtidas foi necessário resumir, organizar e categorizar os dados obtidos dos vários artigos analisados. Para isso, os dados foram introduzidos numa base de dados, ficheiro *excel*. As seguintes informações foram retiradas para todos os artigos gerados pelas bases de dados: autores, título do artigo, ano, título da publicação, volume, edição, número, página de início, página de fim, número de páginas, número de citações, *DOI*, *link*, resumo, tipo de documento, estado de publicação, tipo de acesso, base de dados, *EID*.

Novamente, num ficheiro *excel*, para os artigos a serem incluídos na revisão sistemática da literatura, foram descritas as seguintes informações: referência, palavras-chave, objetivo,

metodologia, implicações práticas, originalidade/valor, resultados, critérios de criação de ambientes colaborativos.

Os artigos incluídos, foram introduzidos no gestor de referências *Mendeley*.

3.6 Modelo Conceptual

Um modelo conceptual é uma representação visual da estrutura informativa de conceitos numa determinada temática. O modelo construído baseou-se na revisão sistemática da literatura realizada no âmbito da colaboração humano-robô em aplicações industriais. A elaboração de um modelo conceptual deve ter início numa seleção adequada de conceitos relacionados com o tema principal em estudo. Estes conceitos tiveram por base a categorização e subcategorização dos estudos, de forma a identificar e relacionar os fatores relevantes e que devem ser considerados na criação de ambientes de trabalho colaborativos. Estes modelos devem demonstrar grande conhecimento sobre as relações entre conceitos, sendo isto evidenciado pela existência de um elevado número de conexões. Após seleccionados os conceitos, as conexões estabelecidas basearam-se nos resultados descritos nos estudos incluídos na revisão sistemática da literatura de forma a demonstrar as relações existentes (Garabet & Miron, 2010). A Figura 19, representa um modelo conceptual de elaboração destes modelos.

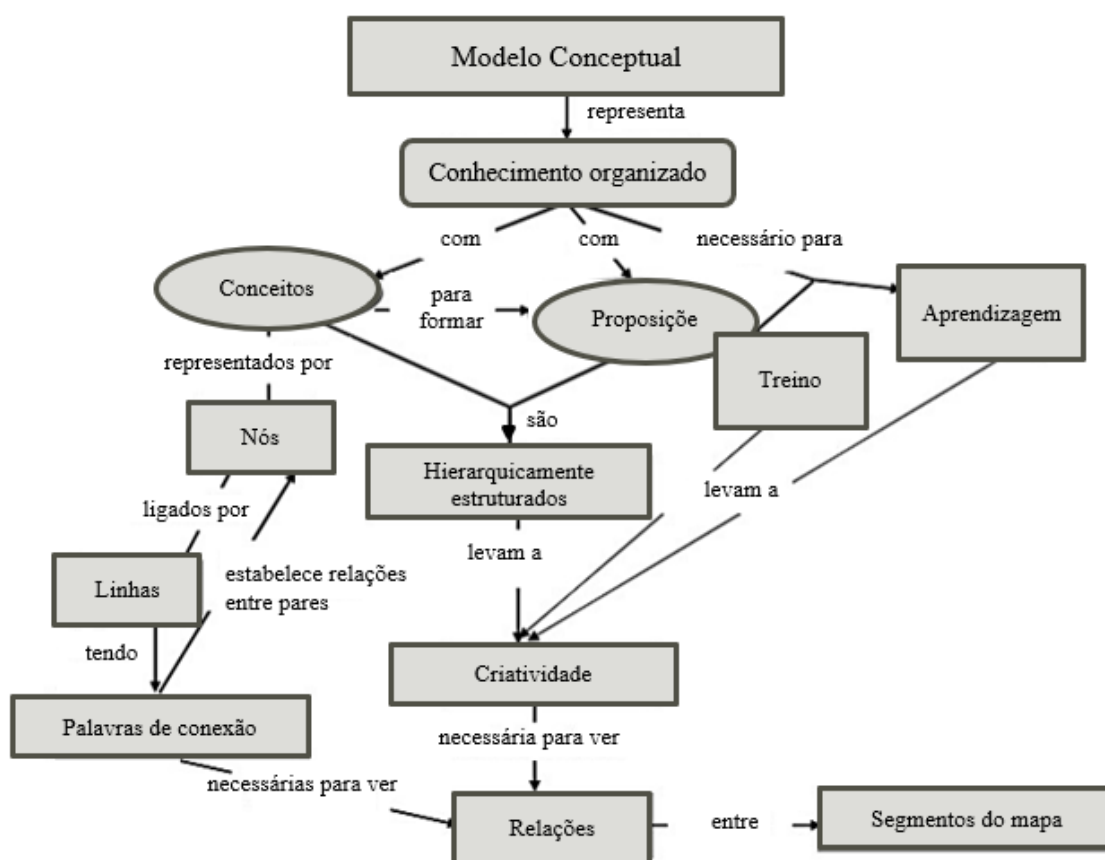


Figura 19 – Representação de um modelo conceptual. Adaptado de: Garabet e Miron (2010).

PARTE 2

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Metodologia PRISMA

A revisão sistemática da literatura realizada teve por base a metodologia PRISMA, sendo o diagrama de fluxo resultante constante da Figura 20.

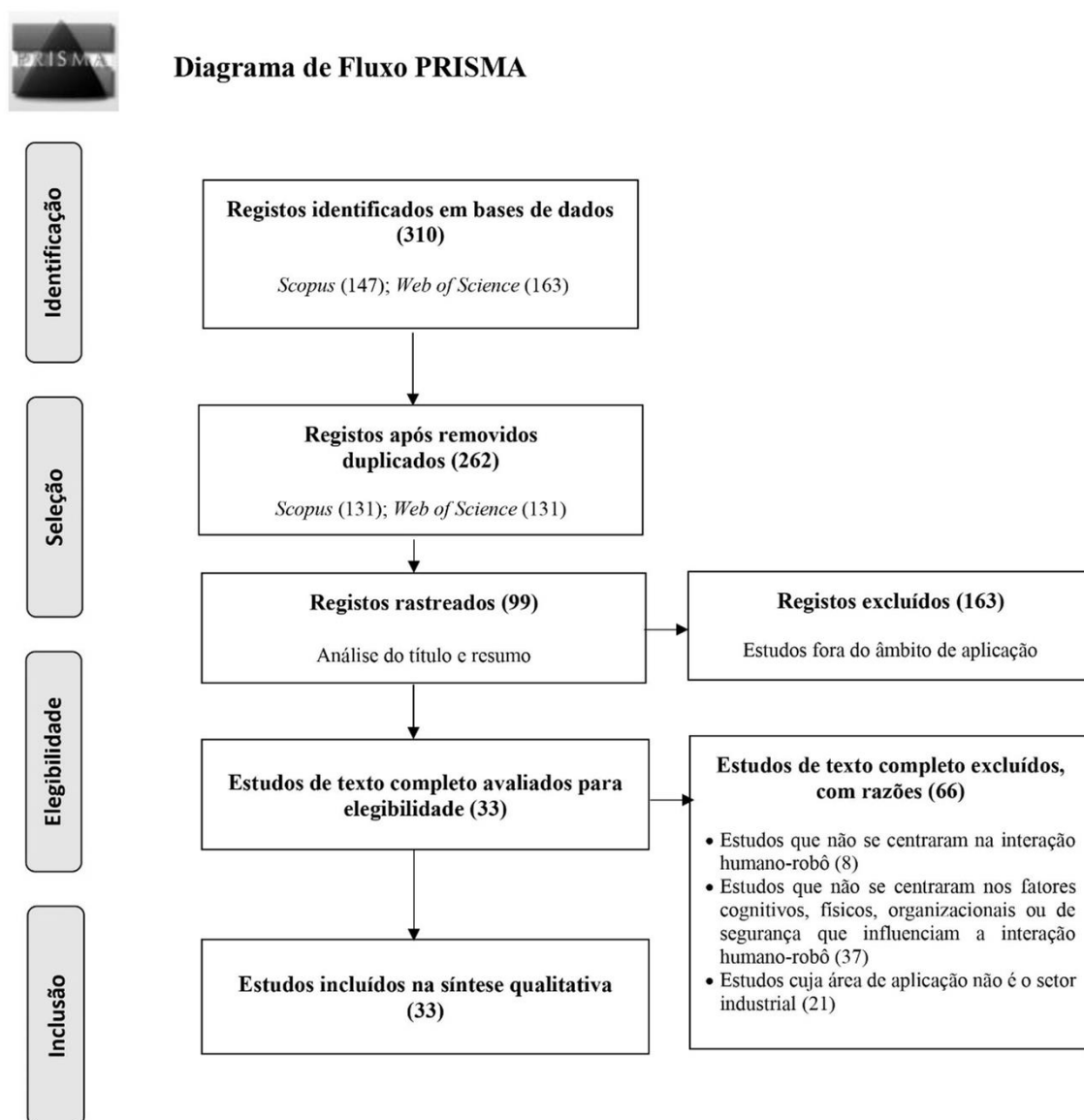


Figura 20 – Diagrama de fluxo PRISMA.

Da pesquisa realizada de acordo com o que foi definido no Capítulo 3, resultaram 310 estudos. Após removidos os estudos duplicados (48 artigos), restaram 262 estudos. Da segunda etapa de seleção dos estudos, através da análise do título e resumo, 163 estudos foram removidos. Por fim, dos 99 estudos restantes as seguintes exclusões foram efetuadas:

- Estudos que não se centraram na interação humano-robô (8);

- Estudos que não se centraram nos fatores cognitivos, físicos, organizacionais ou de segurança que influenciam a interação humano-robô (37);
- Estudos cuja área de aplicação não fosse o setor industrial (21)

Após as exclusões descritas, 33 estudos, listados no Apêndice I, foram incluídos na revisão sistemática da literatura.

Longo et al. (2021), conduziu um estudo por com o objetivo de identificar os principais temas de investigação abordados na literatura científica relativa aos fatores humanos e ergonomia na indústria petrolífera. Num ranking de 52 palavras-chave, fatores humanos apareceu em primeiro lugar, ergonomia em terceiro e segurança em sexto.

4.2 Caracterização dos Estudos

4.2.1 Ano de Publicação

Para os estudos selecionados para constarem da revisão sistemática da literatura (33), no que se refere ao ano de publicação, esta ocorreu de 2013 a 2019, com uma configuração de forma geral crescente ao longo dos anos, como é possível verificar na Figura 21. Este padrão de crescimento é constante com o desenvolvimento da temática nos últimos anos.

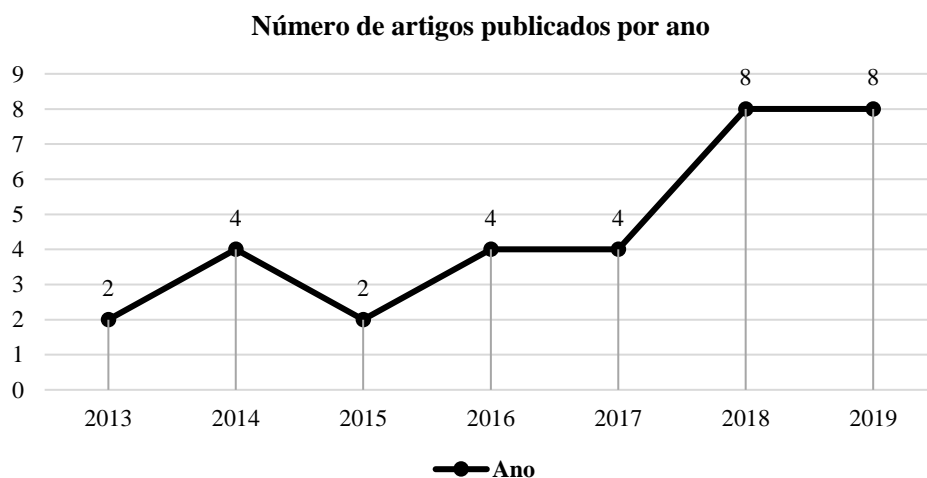


Figura 21 – Ano de publicação dos estudos selecionados

4.2.2 Base de Dados, Tipo de Documento e Tipo de Estudo

Na Tabela 3, são contabilizados os seguintes parâmetros para os estudos: base de dados (*Scopus* ou *Web of Science*), tipo de documento (artigo de revista ou artigo de conferência) e tipo de estudo (estudo de caso ou conceptual).

Tabela 3 – Base de dados, tipo de documento e método dos estudos selecionados.

Base da Dados	Tipo de Documento		Método		
<i>Scopus</i>	14	Artigo de Revista	17	Estudo de Caso	32
<i>Web of Science</i>	19	Artigo de Conferência	16	Conceptual	1

4.2.3 Aplicações Industriais

De acordo com objetivo da presente dissertação e de acordo com os critérios de elegibilidade, apenas estudos com aplicação no setor industrial foram considerados. Como constante da Figura 22, a maioria dos estudos (28) não especificava o setor industrial em que foi desenvolvido, 4 dos estudos foram desenvolvidos na indústria automóvel e apenas 1 estudo desenvolvido na indústria alimentar. O número de robôs utilizados varia bastante entre diferentes setores industriais. As indústrias com maior utilização de robôs são: a indústria automóvel e a indústria de produção de precisão (eletrónica, equipamentos de comunicação, plásticos e óticas). No espetro oposto, a indústria têxtil, produtos de borracha, aço e cerâmica são as que utilizam menos os robôs (Dekle, 2020). De facto, dos estudos selecionados para serem incluídos na revisão sistemática da literatura, era esperado um maior destaque ao nível dos estudos realizados na indústria automóvel, contudo tal não se verificou.

Ao nível das tarefas (Figura 22), a montagem de peças foi a tarefa mais estudada (14), seguida da movimentação de peças/embalagens (11). Outras tarefas estudadas foram o embalamento (2), leitura de códigos (1), preparação de alimentos (1) e a seleção de peças (1). Como referido anteriormente, os *cobots* são uma mais-valia em tarefas monótonas e repetitivas como o posicionamento, a colocação e o aparafusamento de peças. De facto, é neste tipo de tarefas que a colaboração parece estar a ser mais estudada

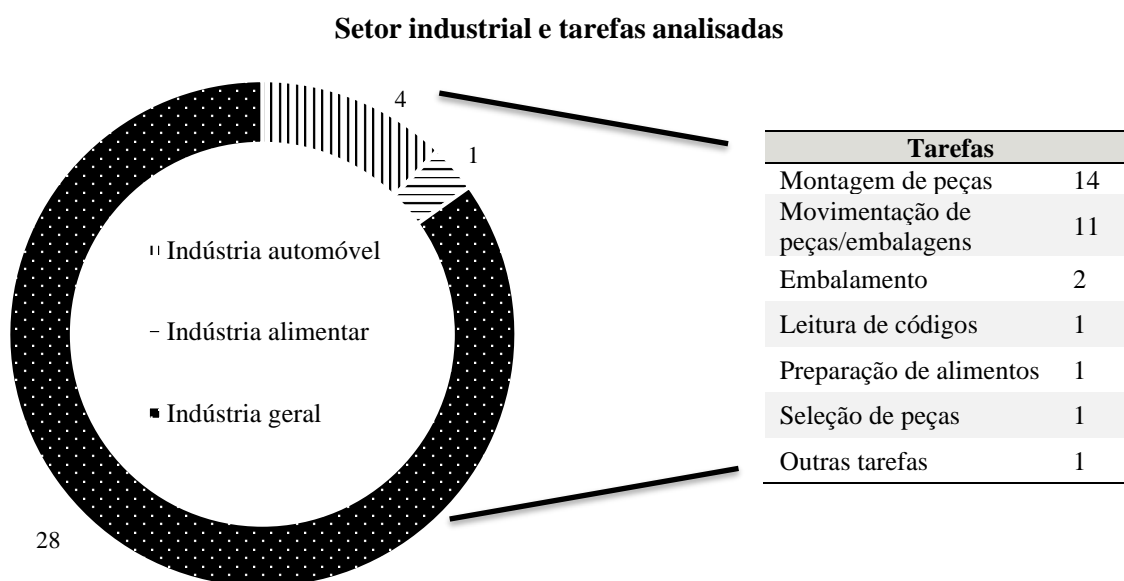


Figura 22 – Setor industrial e tarefas analisadas nos estudos.

4.2.4 Tipo de *Cobots*

Os *cobots* utilizados nos estudos que recorreram à simulação, encontram-se representados na Tabela 4, assim como descritas as suas principais características. *Cobots* como o *Universal*, *Baxter* e *KUKA* foram comuns a mais do que um estudo. De uma forma geral os *cobots* utilizados são braços robóticos que auxiliam na seleção, movimentação ou montagem de peças.

Tabela 4 – *Cobots* utilizados nos estudos e as suas principais características.

Cobot	Caracterização
 <p data-bbox="284 842 501 869"><i>Franka Emika Panda</i></p>	<p data-bbox="647 651 975 678">Referência: (Lamon et al., 2019)</p> <p data-bbox="647 680 1402 815">O <i>Franka Emika Panda</i> é um braço robótico ágil e sensível, programado com base em fluxos de trabalho e na experiência do utilizador. É um <i>cobot</i> leve, adequado a movimentos de elevada precisão e repetibilidade. Permite uma interação intuitiva, não interrupta e segura devido ao seu sistema de deteção de colisões (Franka Emika, n.d.)⁸.</p>
 <p data-bbox="300 1155 469 1182"><i>Adept Viper s650</i></p>	<p data-bbox="647 958 1007 985">Referência: (Kumar & Sahin, 2017)</p> <p data-bbox="647 987 1402 1095">O <i>Adept Viper s650</i> é um <i>cobot</i> de alto desempenho, rápido e preciso, de seis eixos projetados especificamente para aplicações de montagem, podendo também realizar tarefas de manuseamento de materiais, embalagens, máquinas até 5 kg (Omron Adept Technologies, 2016).</p>
 <p data-bbox="357 1487 421 1514"><i>KUKA</i></p>	<p data-bbox="647 1211 1358 1238">Referência: (Kim et al., 2018 ; Safeea et al., 2017; Claes & Tuyls, 2015)</p> <p data-bbox="647 1240 1402 1458">Os <i>KUKA</i> especificamente os modelos <i>LBR</i> (robô de construção leve) <i>iiwa</i> (assistente de trabalho industrial inteligente), são robôs de construção leve adequados a tarefas de montagem, com versões de capacidade de carga, de 7 kg e 14 kg. Estes robôs permitem realizar tarefas altamente sensíveis em colaboração com o homem, rapidamente e precisamente, sem pontos de cisalhamento e de esmagamento. São rápidos na reação, devido aos seus sensores de torque nas articulações que permitem reconhecer contactos e diminuir instantaneamente a força e a velocidade (<i>KUKA</i>, n.d.)⁹.</p>
 <p data-bbox="309 1807 475 1834"><i>COMAU NJ 370</i></p>	<p data-bbox="647 1592 995 1619">Referência: (Michalos et al., 2016)</p> <p data-bbox="647 1621 1402 1729">O <i>Comau NJ 370-3.0</i> é um <i>cobot</i> montado no chão com um <i>design</i> de poupança de espaço, seis eixos de movimento e uma carga útil de 370 kg. Este robô realiza tarefas como soldadura e manuseamento de peças e embalagens (Engineering360, n.d.)¹⁰.</p>

⁸ Franka Emika. (n.d.). The Robot System. Retrieved June 10, 2021, from <https://www.franka.de/robot-system/>. Acedido em junho de 2021.

⁹ KUKA. (n.d.). LBR iiwa. <https://www.kuka.com/pt-pt/produtos-servicos/sistemas-de-robô/robôs-industriais/lbr-iiwa>. Acedido em junho de 2021.

¹⁰Engineering360. (n.d.). Comau NJ 370-3.0 Robot. Robots from RobotWorx. <https://datasheets.globalspec.com/ds/1772/RobotWorx/1FE76093-1D37-41B8-AFB4-3B16912BA36D>. Acedido em junho de 2021.

Cobot	Caracterização
 <p data-bbox="363 459 496 488"><i>Baxter robot</i></p>	<p data-bbox="683 264 1430 315">Referência: (Sadrfaridpour & Wang, 2018; Darvish et al., 2018; Pearce et al., 2018)</p> <p data-bbox="683 315 1430 427">O <i>Baxter</i> é um <i>cobot</i> de fabrico versátil, facilmente programável pelo utilizador para diferentes tarefas através da movimentação dos seus braços. As suas câmaras e atuadores de deteção de força permitem-lhe adaptar-se às mudanças no ambiente e controlar os seus movimentos (IEE n.d a)¹¹.</p>
 <p data-bbox="368 801 496 831"><i>YuMi robot</i></p>	<p data-bbox="683 577 991 607">Referência: (Pang et al., 2018)</p> <p data-bbox="683 607 1430 775">O <i>YuMi</i> é um robô de dois braços e mãos flexíveis de grande precisão, com sistema de localização e controlo de movimento, que permite interromper o seu movimento em milésimos de segundos para evitar lesões. É indicado para colaborar em linhas de produção flexíveis e em tarefas de montagem de peças pequenas. É um robô leve, com acolchoamento macio, que absorve a um grau muito elevado a força de quaisquer impactos inesperados (ABB, n.d.).</p>
 <p data-bbox="320 1160 544 1189"><i>Schunk LWA4P robot</i></p>	<p data-bbox="683 958 1038 987">Referência: (Reinhardt et al., 2017)</p> <p data-bbox="683 987 1430 1099">O <i>Schunk LWA4P</i> é um <i>cobot</i> leve e versátil que consegue carregar cargas até 6 kg. O seu amplificador de potência e controlador, permite que não seja necessária a existência de cabines externas de controlo (ROS Components, 2016)¹².</p>
 <p data-bbox="288 1496 576 1525"><i>MichiganMan(ipulador) arm</i></p>	<p data-bbox="683 1279 1070 1308">Referência: (McGhan & Atkins, 2014)</p> <p data-bbox="683 1308 1430 1476">O braço do <i>MichiganMan(ipulador)</i>, desenvolvido por estudantes da Universidade de <i>Michigan</i> a partir de componentes de baixo custo, foi projetado para se mover num espaço de trabalho comparável ao que é alcançável pelo braço de um humano sentado. Este é um <i>cobot</i> de baixa força e baixo peso, com tamanho, velocidade e alcance de movimento similar ao humano (McGhan & Atkins, 2014).</p>
 <p data-bbox="341 1832 512 1861"><i>iRobot ATRV-JR</i></p>	<p data-bbox="683 1675 995 1704">Referência: (Desai et al., 2013)</p> <p data-bbox="683 1704 1430 1783">O <i>iRobot ATRV-JR</i> é um <i>cobot</i> movel todo-o-terreno de quatro rodas, com aproximadamente 50 kg e uma velocidade de 1,4 metros por segundo (m/s) (Dupont et al., 2006).</p>

¹¹ IEEE. (n.d.). Baxter. Robots: The Guide to the World of Robotics. <https://robots.ieee.org/robots/baxter/>. Acedido em junho de 2021.

¹² ROS Components. (2016). LWA 4P. https://www.roscomponents.com/en/robotic-arms/119-lwa-4p.html#/lwa4d_usb_can_card-no/lwa4d_caja_de_alimentacion_electrica-no/lwa4d_adapter_end_effector-no. Acedido em junho de 2021.

<i>Cobot</i>	Caracterização
 <p data-bbox="311 445 475 472"><i>Universal Robot</i></p>	<p data-bbox="646 241 1409 293">Referência: (Unhelkar et al., 2018; Wang et al., 2019a; Changizi et al., 2019; Kumar & Sahin, 2017)</p> <p data-bbox="646 295 1393 432">O <i>Universal Robots</i> é um braço robótico de seis eixos, cargas uteis de 3 kg, 5 kg, 12,5 kg ou 15 kg e longo alcance. Versáteis a diferentes ambientes produtivos, são flexíveis permitindo realizar diferentes tarefas de movimentação de peças e utilização de ferramentas (Universal Robots, n.d.)¹³.</p>
 <p data-bbox="368 792 416 819"><i>PR2</i></p>	<p data-bbox="646 611 970 638">Referência: (Schulz et al., 2018)</p> <p data-bbox="646 640 1393 723">O <i>software</i> do PR2, permite-lhe navegar de forma autónoma e manipular uma diversa gama de objetos. Com 165 cm e 226 kg atinge velocidades de 3,6 quilómetros por hora (km/h) (IEEE, n.d. b)¹⁴.</p>
 <p data-bbox="341 1140 440 1167"><i>IRB 2600</i></p>	<p data-bbox="646 943 979 969">Referência: (Oyekan et al., 2019)</p> <p data-bbox="646 972 1393 1108">O <i>IRB 2600</i> é um <i>cobot</i> de <i>design</i> compacto e baixo peso, com uma elevada capacidade de carga útil, grande precisão, velocidade de processo altas e menor taxas de desperdício produtivo. As suas principais aplicações incluem: soldadura de arco, montagem, manuseamento de material, limpeza/pulverização, distribuição e embalagem (ABB, 2020).</p>
 <p data-bbox="320 1485 461 1512"><i>JAST/JAMES</i></p>	<p data-bbox="646 1274 1015 1301">Referência: (Giuliani & Knoll, 2013)</p> <p data-bbox="646 1303 1393 1440">O <i>JAST/JAMES</i> é um <i>cobot</i> de dois braços, pegos, posição semelhante à do humano e posição de cabeça fixa, capaz de produzir expressões faciais e discurso sincronizado. Este robô recolhe informação através da fala, gestos e reconhecimento de objetos, sendo capaz de realizar tarefas de montagem em conjunto com o humano (Giuliani & Knoll, 2013).</p>

4.2.5 Análise dos Estudos Incluídos

Os estudos foram categorizados em quatro grupos: fatores cognitivos (13), fatores físicos (6), fatores organizacionais (4) e segurança (10). Como constante da Figura 23, dentro de cada categoria foram atribuídas subcategorias:

- Fatores cognitivos: confiança (4), resposta motora (3), trabalho de equipa (2), aceitação (1), comunicação (1), desempenho cognitivo (1) e percepção (1);
- Fatores físicos: postura (4) e carga física/esforço (2);

¹³ Universal Robots. (n.d.). Robôs Colaborativos da Universal Robots. <https://www.universal-robots.com/pt/produtos/>

¹⁴ IEEE. (n.d.-b). PR2. <https://robots.ieee.org/robots/pr2/>. Acedido em junho de 2021.

- Fatores organizacionais: desempenho do sistema (4);
- Segurança: colisões humano-robô (10).

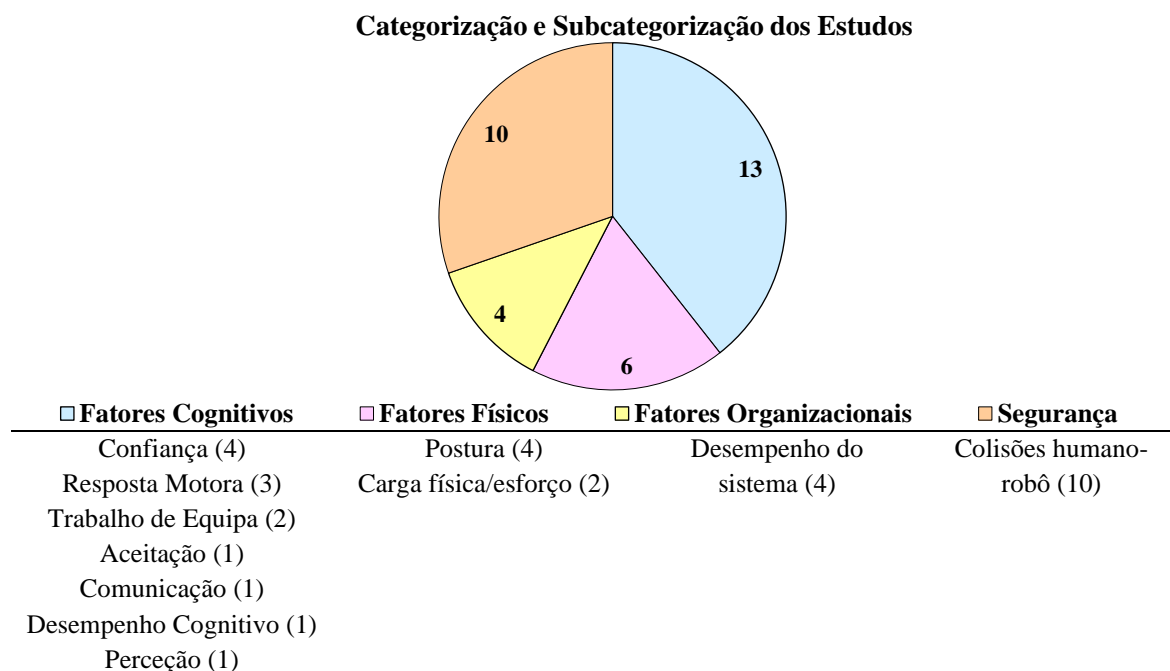


Figura 23 – Categorização e subcategorização dos estudos.

4.2.6 Métodos

Como constante da Tabela 5, seis métodos de estudo foram identificados nos estudos analisados: simulação, *software*, algoritmo, questionário, entrevista e avaliação de risco/análise ergonómico. A simulação, em ambiente real ou em ambiente virtual, foi o método de instrumentação mais utilizado nos estudos selecionados (29). A realidade virtual, permitem uma solução de baixo custo para as empresas desenvolverem estratégias para a criação de ambientes colaborativos (Oyekan et al., 2019; Michalos et al., 2016). A segurança em ambientes de trabalho colaborativos pode recorrer às capacidades da tecnologia, nomeadamente da realidade virtual, como demonstrado por Michalos et al. (2016). O autor avaliou a ferramenta de realidade virtual em ambiente real numa célula robótica do sector automóvel e os resultados revelaram que a abordagem proposta pode melhorar as condições de trabalho do operador e a sua integração no processo de montagem. Para realização das atividades experimentais ou para o tratamento de dados recolhidos certos estudos recorreram a *software* específico (10) como: *Unity3*, *MATELA*, *ADAMS* e *MoveIt*. A otimização de algoritmos ou criação de novos algoritmos para conceção de ambientes colaborativos, foi um dos meios de instrumentação utilizado (13). A recolha de informação, para a identificação/caracterização dos participantes ou de aspetos específicos do objetivo dos estudos, foi realizada através de questionários (8). O processo de entrevista (2) aos participantes também foi um dos métodos de instrumentação utilizado. Avaliação de Risco /Análise Ergonómica (5) foi utilizada para a análise de ambientes colaborativos.

Tabela 5 – Métodos de estudo utilizados.

Categoria	Referência	Métodos de Estudo					
		Simulação	Software	Algoritmo	Questionário	Entrevista	Avaliação de Risco / Ergonômica
Fatores Cognitivos	(Rabby et al., 2019)	✓		✓			
	(Sadrfaridpour & Wang, 2018)	✓	✓				
	(Reinhardt et al., 2017)	✓			✓		
	(Losey & O'Malley, 2019)	✓					
	(Darvish et al., 2018)	✓		✓			
	(Claes & Tuyls, 2015)	✓					
	(Desai et al., 2013)	✓			✓		
	(Sadrfaridpour et al., 2016)	✓	✓	✓			
	(Schulz et al., 2018)	✓			✓		
	(Wang et al., 2019)	✓		✓	✓		
	(Bröhl et al., 2016)		✓		✓		
	(Oyekan et al., 2019)	✓			✓		
Fatores Organizacionais	(Giuliani & Knoll, 2013)	✓	✓		✓		
	(Liu et al., 2016)	✓			✓		
	(McGhan & Atkins, 2014)	✓	✓				
	(Müller et al., 2014)	✓		✓			✓
Fatores Físicos	(Oloff et al., 2018)	✓					
	(Lamon et al., 2019)	✓		✓			
	(Kim et al., 2018)	✓		✓			
	(Changizi et al., 2019)	✓			✓		
	(Costa Mateus et al., 2019)	✓					
	(Faber et al., 2016)			✓			
	(Pearce et al., 2018)	✓				✓	✓
Segurança	(Kumar & Sahin, 2017)	✓	✓				
	(Rojas et al., 2019)			✓			✓
	(Michalos et al., 2016)	✓	✓				
	(Pang et al., 2018)	✓	✓				
	(Jocelyn et al., 2017)					✓	✓
	(Unhelkar et al., 2018)	✓					
	(Safeea et al., 2017)	✓					
	(Beetz et al., 2015)	✓	✓	✓			
	(Meziane et al., 2014)	✓		✓			
	(Tian et al., 2016)	✓	✓	✓			
		29	10	13	8	2	5

De forma avaliar os diferentes fatores com influencia na interação humano-robô, nomeadamente os definidos em subcategorias, e com base nos métodos definidos na Tabela 5, os autores dos estudos em análise recorreram a diferentes variáveis/indicadores, descritos na Tabela 6. Estes podem ser de recolha direta ou de posterior determinação através *softwares* ou algoritmos.

Nos estudos direcionados para os fatores cognitivos destacam-se as seguintes variáveis/indicadores: desempenho humano, desempenho do robô, nível de confiança, previsibilidade, fiabilidade, conforto e perceção de segurança.

Nos fatores organizacionais, uma vez que os estudos neste âmbito abordaram o desempenho do sistema, as variáveis/indicadores analisados relacionaram-se principalmente com questões ao nível da produtividade (tempo de execução e cumprimento da tarefa). De notar, que o tempo de execução foi uma variável/indicador comum a diversos estudos em diferentes categorias. Apesar da segurança, bem-estar físico, mental e social dos trabalhadores ser sempre a principal preocupação, é importante que se atinjam estes objetivos, mas que se mantenha a viabilidade do sistema, procurando-se sempre tempos de execução das tarefas reduzidos.

Nos fatores físicos, foram analisadas variáveis/indicadores relativas à posição dos membros, ângulos entre partes do corpo e índices de esforço.

Por fim, no que se refere à segurança a distância entre o humano e o robô e a velocidade do robô são variáveis/indicadores considerados relevantes.

Tabela 6 – Variáveis e indicadores analisados.

Categoria	Referência	Subcategoria	Variáveis/Indicadores
Fatores Cognitivos	(Rabby et al., 2019)	Desempenho Cognitivo	Desempenho humano; Desempenho do robô; Carga cognitiva; Usabilidade
	(Sadrfaridpour & Wang, 2018)	Confiança	Movimento das articulações; Velocidade do robô
	(Reinhardt et al., 2017)		Nível de confiança; Previsibilidade
	(Desai et al., 2013)		Nível de confiança
	(Sadrfaridpour et al., 2016)	Comunicação	Desempenho humano; Desempenho do robô; Nível de confiança
	(Losey & O'Malley, 2019)		Capacidade de aprendizagem
	(Darvish et al., 2018)	Trabalho de Equipa	Fiabilidade; Robustez; Flexibilidade
	(Claes & Tuyls, 2015)		Deteção de objetos; Comunicação; Cinemática Inversa do Braço.
	(Schulz et al., 2018)	Percepção	Eficiência; Naturalidade; Relaxamento; Conforto; Inteligência
	(Bröhl et al., 2016)	Aceitação	Percepção de segurança; Aceitação
Fatores Organizacionais	(Wang et al., 2019)	Resposta Motora	Tempo de execução; Nível de confiança; Número de respostas corretas; Eficácia
	(Oyekan et al., 2019)		Aceleração; Relação de energia cinética; Direção da reação
	(Giuliani & Knoll, 2013)	Desempenho do sistema	Tempo de execução; Sentimentos do utilizador; Inteligência robótica; Comportamento do robô; Cumprimento da tarefa
	(Liu et al., 2016)		Tempo de execução; Fluência; Nível de confiança; Capacidade; Percepção
Fatores Físicos	(McGhan & Atkins, 2014)	Desempenho do sistema	Tempo de execução; Cumprimento da tarefa
	(Müller et al., 2014)		Perigos; Qualidade do produto
	(Oliff et al., 2018)		Tempo de execução; Fadiga; Nível de habilidade/experiência; Condições ambientais; Estado emocional
	(Lamon et al., 2019)	Postura	Complexidade da tarefa; Destreza do agente; Esforço
	(Kim et al., 2018)		Postura; Vetor de deslocamento; Torques de sobrecarga articular
	(Changizi et al., 2019)	Carga física/esforço	Alcance; Postura; Velocidade; Controle; Força; Visão; Audição; Locomoção; Autonomia; Competência; Afinidade
(Costa Mateus et al., 2019)	Tempo de ação; Distância de ação; Posição do braço e antebraço; Torção do pulso; Ângulo entre braço e antebraço		
Segurança	(Faber et al., 2016)	Colisões humano-robô	Fatores de risco ergonómico; Custos de alocação
	(Pearce et al., 2018)		Intensidade do esforço; Duração do esforço; Esforços por minuto; Posicionamento mão/pulso; Tempo de execução
	(Kumar & Sahin, 2017)	Colisões humano-robô	Segurança; Desempenho; Produtividade
	(Rojas et al., 2019)		Velocidade; Trajetória.
	(Michalos et al., 2016)		Sobrecarga das articulações
	(Pang et al., 2018)		Força de contacto; Resistência
	(Jocelyn et al., 2017)		Perigo; Risco; Aceitação do Risco; Confiabilidade
	(Unhelkar et al., 2018)		Tempo inatividade; Tempo de execução; Tempo paragem de segurança; Segurança; Eficiência; Fluência
	(Safeea et al., 2017)		Distância humano-robô
	(Beetz et al., 2015)		Posição; Velocidade; Aceleração; Torque
(Meziane et al., 2014)	Distância humano-robô		
(Tian et al., 2016)	Redução da velocidade; Velocidade angular da articulação; Fricção da articulação		

4.3 Fatores Organizacionais

Os estudos que se desenvolveram no âmbito da análise de fatores organizacionais focaram-se na otimização do desempenho do sistema. O desempenho no trabalho é definido como ações mensuráveis, comportamento e resultados em que os trabalhadores estão envolvidos e que contribuem para o objetivo da organização. O desempenho individual compreende quatro grandes dimensões: desempenho da tarefa, desempenho contextual, desempenho adaptativo e comportamento contraproducente do trabalho (Viswesvaran & Ones, 2000; Koopmans et al., 2011).

Nos estudos incluídos este desempenho não se relacionou apenas com a produtividade, caso contrário os estudos teriam sido excluídos por não se centrarem na interação humano-robô. Como referido por Koopmans et al. (2011), o desempenho não é o mesmo que produtividade. De facto, McGhan & Atkins (2014), definiram que este desempenho se obtém em função da segurança, eficiência (tempo de execução da tarefa) e preferência do trabalhador, e definiram a produtividade, como sendo o desempenho quando afetado pela carga de trabalho. O conceito de produtividade, como reflexo do desempenho, tem vindo a ser desenvolvido ao longo dos anos. Inicialmente a produtividade era apenas um rácio entre a quantidade produzida e o número de trabalhadores. Mais tarde, o conceito de produtividade integrou também parâmetros de utilização dos recursos (King et al., 2013).

O que os autores demonstraram é que o conceito de desempenho nos ambientes colaborativos vai muito mais além do que o conceito de produtividade a que estamos habituados. Para Müller et al. (2014), o desempenho além da segurança, integra também os indicadores de precisão, velocidade, eficiência e qualidade do produto. Já para Oliff et al. (2018), o desempenho é influenciado pelo tipo de tarefas desempenhadas, experiência, fadiga, estado emocional e ambiente. Como verificado na Figura 12, secção 2.3.1, o ambiente é um dos fatores organizacionais com influencia na interação humano-robô. Frequentemente, fatores ambientais, por exemplo o ruído e o ambiente térmico, não influenciam o desempenho da tarefa primária, mas limitam a capacidade de execução de tarefas em simultâneo, o que requer uma atenção adicional por parte do trabalhador (Oliff et al., 2018).

A otimização do desempenho no ambiente colaborativo pode ser alcançada pela previsão de intenção, através do planeamento visual ou de modelos de previsão, de forma a evitar a necessidade de comunicação explícita de intenções, aumentando o desempenho e minimizando a frustração. Isto é demonstrado por McGhan & Atkins (2014), cujos resultados revelaram que o desempenho no ambiente colaborativo é comparável ao do ambiente não colaborativo, desde que o robô não interfira diretamente com os movimentos físicos do humano ou com o foco da sua atenção. Ao encontro destas conclusões, em Liu et al. (2016), os trabalhadores foram sensíveis às diferenças de comportamento do robô, preferindo trabalhar com um robô que se adaptava às suas ações. Modelos de adaptação do robô e planeamento dinâmico melhoraram consideravelmente o desempenho da equipa. Como indicado anteriormente, a preferência do trabalhador é um fator com impacto no desempenho do sistema.

4.4 Fatores Cognitivos

Como referido na secção anterior (4.3. Fatores Organizacionais), os fatores organizacionais relacionam-se com outras categorias de fatores humanos. Atender às preferências do trabalhador terá influencia ao nível dos fatores cognitivos, nomeadamente na confiança, na comunicação, no trabalho de equipa, perceção, aceitação e resposta motora.

De facto, vimos anteriormente que o trabalhador prefere interagir com um robô que se adapta a si. A legislação nacional de promoção da SST indica que deve ser o trabalho a adaptar-se ao homem e não o contrário. O robô pode atribuir uma estratégia de interação pré-programada e fixa a cada trabalhador, ao invés, Losey e O'Malley (2019), consideraram que o robô deve manter uma crença sobre as possíveis estratégias de interação humana, e atualizá-las, pela troca de informações, durante a tarefa. Também em Schulz et al. (2018), os trabalhadores preferiram estar no comando e dar a ação a realizar ao robô, ao invés de terem que solicitar a ajuda do robô. O robô pode assim adaptar-se ao trabalhador, em vez de exigir que este cumpra a sua estratégia pré-definida. Esta adaptação melhora a comunicação entre as partes, com resultado no aumento da confiança que o trabalhador irá depositar no robô.

A confiança representa a atitude do indivíduo face ao cumprimento de objetivos em situações de incerteza (Lee & See, 2004). A confiança foi identificada como um fator importante que orienta a intenção e o comportamento humano ao interagir com a automação (Wang et al., 2019). Este fator pode afetar a vontade do trabalhador para atribuir tarefas, partilhar informações, cooperar, fornecer apoio e aceitar resultados na interação com o robô, afetando assim os resultados da mesma (Hancock et al., 2011; Salem et al., 2015). Para Sadrifaridpour et al. (2016), a confiança do humano em relação ao robô depende da diferença entre o desempenho humano e o desempenho do robô. Os estudos incluídos, no domínio da confiança, demonstraram que: as estratégias de movimento do robô submissas com sinal foram percecionadas como mais confiáveis comparativamente com as estratégias dominantes sem sinal (Reinhardt et al., 2017); quedas de fiabilidade no início, impactaram negativamente a confiança de forma diferente de quedas mais tardias (Desai et al., 2013); o nível de confiança médio é mais elevado para modos de trabalho colaborativo com carga de trabalho moderada (Sadrifaridpour et al., 2016); e *interfaces* de *feedback* com utilização de símbolos semânticos conduziram a mudanças de confiança mais abruptas do que símbolos não semânticos (Desai et al., 2013).

Considerando que a confiança está ligada à persuasão em contextos de interação social, este fator pode afetar a vontade dos trabalhadores para colaborarem com o robô. Especialmente em decisões relevantes, a confiança desempenha um papel importante nas interações do humano podendo ajudar a aumentar a aceitação do robô como parceiro de trabalho. A aceitação pode ser categorizada em: aceitação funcional, caracterizada pelo nível de facilidade de utilização percebida, utilidade, precisão e inovação do robô; e em aceitação social, que abrange a presença social, a perceção de sociabilidade, capacidades sociais, inteligência social e a influencia social dos robôs. A aceitação também é um fator com influencia na utilização eficaz e eficiente,

influenciando por isso o desempenho do sistema (Gaudiello et al., 2016). Em Giuliani e Knoll (2013), a satisfação do trabalhador foi negativamente influenciada pelos erros que o robô cometeu durante a tarefa. Bröhl, et al. (2016) desenharam um modelo de aceitação de interação humano-robô no qual, na percepção de utilidade, a relevância do emprego foi o fator considerado mais importante, e na percepção de facilidade, a segurança percebida e no trabalho foi o melhor preditor.

O trabalho de equipa pode ser definido como a capacidade de trabalhar com outros, de forma construtiva, na realização de determinadas tarefas (Rampersad, 2020). Assim, os fatores descritos anteriormente influenciam as preferências de trabalho do humano, condicionando a forma como o trabalhador vai desempenhar as suas funções com o robô e assim, conseqüentemente a sua relação com o mesmo. Darvish et al. (2018) e Claes e Tuyls (2015), apresentam modelos de otimização do trabalho de equipa, suportando uma colaboração natural, intuitiva, assistida e direta. Contudo como referido em Correia Simões et al. (2020), a aceitação da equipa humano-robô pode, em última análise, depender da preferência pessoal e implica a análise dos sentimentos dos trabalhadores em relação ao robô com o qual estão a trabalhar.

Wang et al. (2019), sugeriram uma relação entre a construção psicológica da confiança e a resposta motora. Controladores autónomos da velocidade do robô, baseados na componente física e social da interação humano-robô, comparativamente com os ajustes manuais, podem reduzir a carga física de trabalho, mantendo o desempenho global da equipa (Sadrfaridpour & Wang, 2018). Para Rabby et al. (2019), na colaboração humano-robô, a carga de física de trabalho é um dos indicadores para obtenção da carga cognitiva de trabalho.

4.5 Fatores Físicos

A alocação de tarefas em ambientes colaborativos, exige a definição de métricas adequadas. Diferentes fatores utilizados na projeção de ambientes colaborativos, podem ser modificados para proporcionar conforto otimizado ao humano (Changizi et al., 2019). Lamon et al. (2019) propõem uma abordagem baseada na capacidade com impactos ao nível do desempenho do sistema e da ergonomia do posto de trabalho, sendo que carga de trabalho é partilhada pelos agentes de acordo com as suas capacidades físicas. Já Pearce et al. (2018), propuseram uma abordagem que minimiza a carga física do trabalho pela minimização da tensão física, e otimiza o desempenho do sistema pela minimização do tempo de conclusão da tarefa. Contudo, não foram verificadas melhorias de tempo nas seguintes condições: tarefas de grande esforço físico, tarefas em configurações inseguras para o robô operar, tarefas de destreza precisa e tarefas que exigissem o uso de ferramentas complexas. Costa Mateus et al. (2019), concluíram que são também fatores importantes na alocação de tarefas as peças a manusear, a distância de ação e a geometria das peças e como esta influencia o manuseamento das mesmas, juntamente com a avaliação ergonómica.

Uma causa comum de LMERT durante a manipulação ou transporte de objetos pesados é a sobrecarga mecânica das articulações do corpo, tais como tornozelo, joelho ou costas. Por isso, é importante otimizar o movimento do robô, considerando os constrangimentos de tarefa, de forma a reduzir as sobrecargas nas articulações humanas. Em Kim et al. (2018), é desenvolvida uma

técnica de monitorização em tempo real das variações da carga articular durante a realização de tarefas colaborativas. O objetivo é controlar de forma adaptativa o comportamento do robô quando a sobrecarga é detetada. Os resultados forneceram dados para ajustar e otimizar a configuração humana para posturas mais ergonómicas e confortáveis.

Também Changizi et al. (2019) procuraram a melhoria das posturas do trabalhador, verificando-se que a orientação manual no robô permitiu atingir este fim, uma vez que fez com que os trabalhadores pensassem que tinham controlo sobre o sistema e que o robô fosse visto como um ajudante. Este ponto é comum aos fatores cognitivos onde também se verificou que os trabalhadores preferiram estar no comando.

4.6 Segurança

Os estudos incluídos na categoria “Segurança” focaram-se na análise das colisões humano-robô. Como referido na secção 2.3.2, a introdução de *cobots* na indústria está sempre ligada a preocupações ao nível da segurança dos trabalhadores, principalmente ao nível das colisões, uma vez que robôs e humanos partilham o mesmo espaço de trabalho, sendo inevitável a proximidade física. Assim sendo, diversos métodos de minimização do risco têm vindo a ser estudados e desenvolvidos.

A distância mínima entre humanos e robôs é a principal entrada para a maioria dos métodos de prevenção de colisões em ambientes colaborativos (Safeea et al., 2017). Por exemplo, métodos de deteção de colisão e de estimativa da força de contacto que não implicam o uso de sensores extra, como o desenvolvido por Tian et al. (2016), garantem a segurança do ambiente colaborativo, mas não implicam custos adicionais que podem tornar a implementação dos *cobots* não viável.

Outro método estudado na prevenção de colisões é o desenho de trajetórias seguras. De uma forma geral um sistema de navegação em espaços colaborativos deve: priorizar o trabalhador, oferecendo um espaço livre ao mesmo; ser socialmente e fisicamente aceitável, não invadindo o espaço dos trabalhadores; e basear-se na abordagem humana, respondendo a um trabalhador em caso de aproximação (Ratsamee et al., 2015). Previsões do movimento humano e do planeamento atempado mostraram-se cruciais para executar movimentos eficientes e seguros (Unhelkar et al., 2018). Beetz et al. (2015), verificaram a eficácia de uma abordagem consciente da segurança no controlo de robôs. Este novo conceito de programação permite construir robôs capazes de raciocinar sobre os seus movimentos em termos de segurança e de fazer pleno uso das suas capacidades de movimento e perceção. Na mesma linha de pensamento, Meziane et al. (2014) apresentaram um sistema que reconhece as atividades humanas e localiza a posição do operador em tempo real através de um capacete de segurança instrumentado. É importante que os desenhos de trajetórias seguras, além da segurança dos trabalhadores, garantam a otimização do fluxo de trabalho. Para isso sistemas como o desenvolvido por Kumar e Sahin (2017), que permitem ao robô alterar, de forma adaptativa, de modos normais de operação para modos restritivos, alterando a sua trajetória sem parar o seu movimento, são fundamentais. Rojas et al. (2019), além de desenharem trajetórias fisicamente seguras consideraram que estas sejam psicologicamente

seguras. A limitação da velocidade é também um aspeto crucial na criação de ambiente colaborativos seguros, Rojas et al. (2019), para as articulações dos braços e dos cotovelos estabelece uma velocidade limite do robô de 0,33 m/s, e para as articulações dos antebraços e pulsos uma limitação da velocidade a 0,36 m/s.

Aspetos a nível do *design* dos *cobots* são também cruciais, assim Pang et al. (2018), produziram uma pele de robô tridimensional flexível, representada na Figura 24, que pode fornecer uma abordagem eficiente para a interação natural e segura entre humanos e robôs.

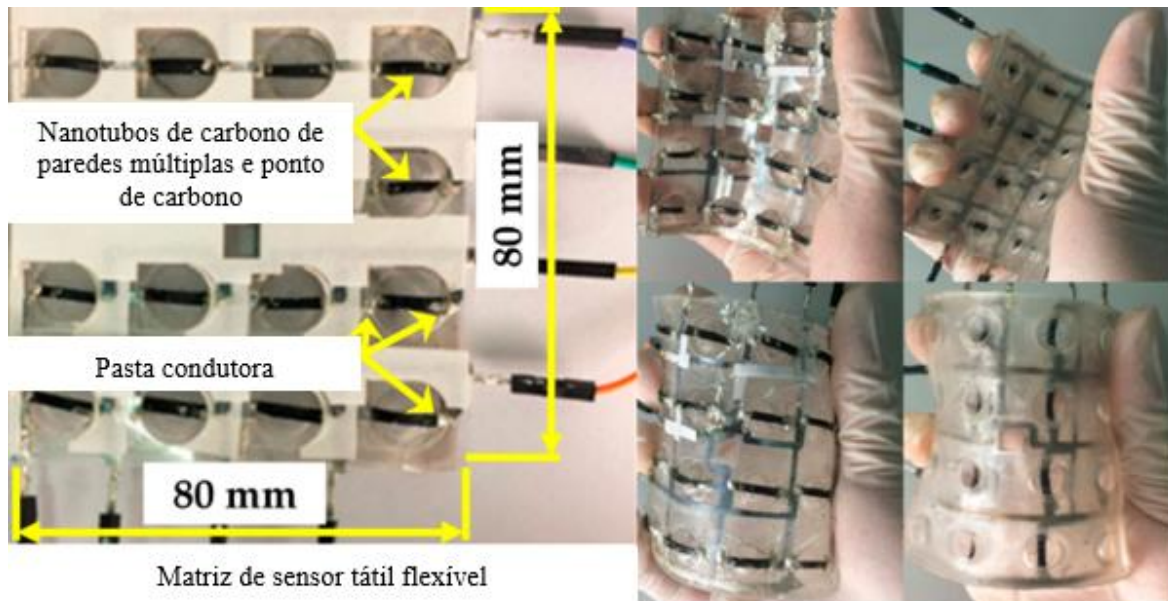


Figura 24 – Pele de robô tridimensional flexível. Adaptado de: Pang et al. (2018).

O trabalhador tem também um papel fundamental na sua proteção, devendo sempre proteger-se de colisões com o robô ou com peças que o robô que esteja a manusear, tendo que para isso seguir todos os procedimentos de segurança e, posicionar-se sempre de frente para o robô, independentemente da atividade desenvolvida (Jocelyn et al., 2017).

4.7 Modelo Conceptual

Pretende-se que o modelo conceptual apresentado na Figura 25, seja um apoio ao desenvolvimento de ambientes de trabalho colaborativos.

Apesar dos estudos terem sido categorizados e subcategorizados pelo seu objetivo principal em análise, todos os fatores indicados devem ser tidos em consideração na criação destes ambientes, de uma forma integrada e multidisciplinar. A relação entre todos os fatores relevantes na criação de ambientes colaborativos é apresentada no modelo conceptual de uma forma visualmente mais clara e compreensível.

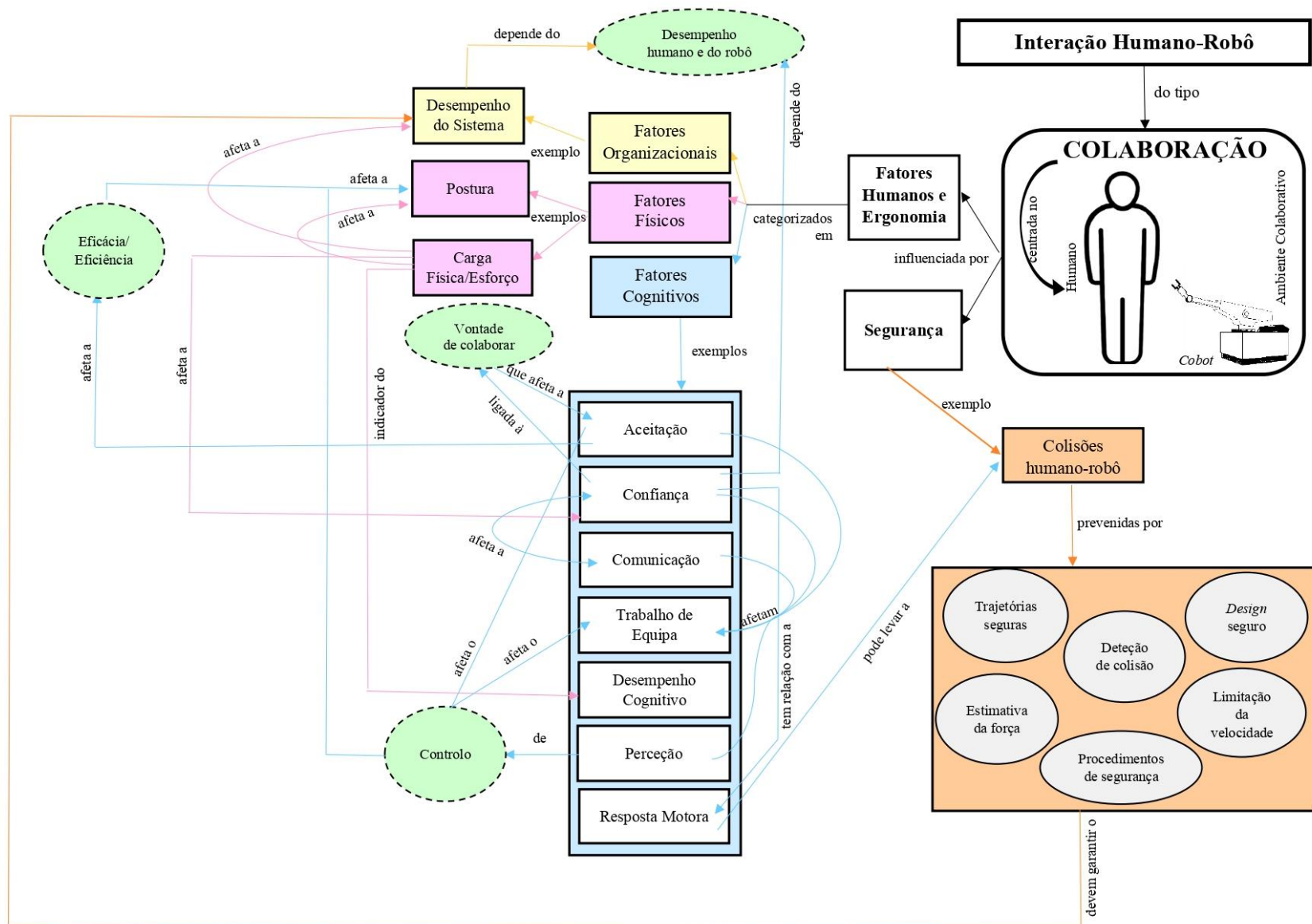


Figura 25 – Modelo conceptual para a criação de ambientes de trabalho colaborativos.

4.8 Limitações e vieses

Como em qualquer estudo, o presente trabalho teve algumas limitações. Considerando que foi realizada uma revisão sistemática da literatura, neste tipo de estudos não é possível superar os problemas de concepção dos estudos primários. Além disso, é realizada uma leitura de resultados já resumidos por outros autores, o que pode levar a erros de interpretação.

Na revisão sistemática da literatura realizada apenas foram incluídos estudos em inglês, não incluindo assim estudos potencialmente relevantes noutros idiomas e, a pesquisa foi limitada apenas a duas bases de dados (*Scopus* e *Web of Science*). Ainda, apenas foram considerados estudos com aplicações industriais. Apesar de ser um critério de exclusão adequado, os estudos sobre robôs sociais poderiam trazer informação complementar para a concepção de ambientes de trabalho colaborativos, por exemplo ao nível das formas de comunicação.

5 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

Os *cobots* são uma realidade e a sua presença nas indústrias prevê-se aumentar, e por isso, as empresas devem estar preparadas para a sua inclusão. Nesse sentido será necessário desenvolverem-se estudos que analisem como otimizar esta interação, assegurando sempre que é garantida a segurança e saúde do trabalhador no cumprimento dos objetivos de produção e eficiência.

A revisão sistemática da literatura realizada veio comprovar que existem muitos fatores com influencia na interação humano-robô, nomeadamente, fatores humanos e de ergonomia (organizacionais, físicos, cognitivos) e fatores relacionados com a segurança, que devem ser explorados na criação de ambientes de trabalho colaborativos. Nestes fatores incluem-se a confiança, resposta motora, trabalho de equipa, aceitação, comunicação, desempenho cognitivo, perceção, postura, carga física/esforço, desempenho do sistema e colisões humano-robô. Espera-se que o modelo conceptual apresentado possa apoiar as empresas na aplicação com sucesso da colaboração humano-robô, tendo em conta a urgência de adaptar o local de trabalho ao humano, melhorando simultaneamente o bem-estar físico e mental, o desempenho, a produtividade e a sustentabilidade.

Como demonstra o modelo desenvolvido, os fatores influentes na interação humano-robô devem ser estudados de forma integrada e multidisciplinar, e não isoladamente. Vários desafios surgem como consequência desta multidisciplinaridade e diversidade de campos de conhecimento. O TSST como um dos principais interessados na garantia da segurança e saúde dos trabalhadores, tem um papel fundamental na conceção dos ambientes de trabalho colaborativos. Contudo, para melhor superar estes desafios, este profissional deve trabalhar integrado numa equipa multidisciplinar, com domínio de áreas do conhecimento como a engenharia, tecnologia, ergonomia e fatores humanos, medicina e psicologia.

Futuros estudos direcionados para a criação de ambientes de trabalho colaborativos poderiam beneficiar de uma abordagem mais multidisciplinar. A literatura reconhece a existência de cenários complexos de interação entre humanos e robôs na indústria, no entanto, a maioria dos estudos não analisa múltiplas dimensões de fatores humanos e de segurança. A sustentabilidade da colaboração depende de uma aproximação centrada no trabalhador. Por isso, será necessário desenvolver estudos em ambientes de controlo que investiguem tarefas específicas provenientes do fabrico e explorem os efeitos de ambientes de trabalho colaborativos no humano, considerando dados fisiológicos, biomecânicos e psicossociais. Esta aproximação pretende maximizar o envolvimento humano na cadeia de decisão e promover a segurança, a saúde, o bem-estar e a qualidade de vida dos trabalhadores. Do ponto de vista das empresas, o trabalho futuro deve centrar-se no desenvolvimento de métodos que permitam compreender a sustentabilidade da colaboração humano-robô, e apoiar os decisores nas tarefas em que a implementação de *cobots* é viável. Além disso, é também imperativo o desenvolvimento de estratégias (por exemplo, programas de formação) para demonstrar aos trabalhadores que a colaboração pode ser realizada num ambiente de trabalho seguro, saudável e inclusivo.

6 BIBLIOGRAFIA

- ABB. (n.d.). *YuMi IRB 14000*.
https://library.e.abb.com/public/ac2e1166cbf04ed192493bad15b6bca3/IRB%2014000_YuMi_DualArm-datasheet_digital_20210331.pdf
- ABB. (2020, novembro). *IRB 2600: ABB further extends its mid range robot family*.
https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0142EN_B&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch
- Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the industry 4.0: A literature review on technologies for manufacturing systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(3), 899–919. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>
- Antonelli, D., Astanin, S., Caporaletti, G., & Donati, F. (2014). Free: Flexible and safe interactive human-robot environment for small batch exacting applications. In Röhrbein F., Veiga G., Natale C. (Eds) *Gearing Up and Accelerating Cross-Fertilization between Academic and Industrial Robotics*, 94, (pp. 47–62). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02934-4_3
- Antonelli, D., Astanin, S., & Bruno, G. (2016). Applicability of human-robot collaboration to small batch production. In Afsarmanesh H., Camarinha-Matos L., Lucas Soares A. (Eds) *IFIP International Federation for Information Processing*, 480, (pp. 24–32). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-45390-3>
- Apriaskar, E., Fahmizal, & Fauzi, M. R. (2020). Robotic technology towards industry 4.0: Automatic object sorting robot arm using kinect sensor. *The 8th Engineering International Conference 2019, Journal of Physics: Conference Series*, 1444(1), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1444/1/012030>
- Bauer, W., Bender, M., Braun, M., Rally, P., & Scholtz, O. (2016). *Lightweight robots in manual assembly – best to start simply!* Fraunhofer IAO. https://www.researchgate.net/publication/327744724_Lightweight_robots_in_manual_assembly_-_best_to_start_simply_Examining_companies'_initial_experiences_with_lightweight_robots
- Beetz, M., Bartels, G., Albu-Schaffer, A., Balint-Benczedi, F., Belder, R., Bebler, D., Haddadin, S., Maldonado, A., Mansfeld, N., Wiedemeyer, T., Weitschat, R., & Worch, J. H. (2015). Robotic agents capable of natural and safe physical interaction with human co-workers. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 6528–6535. <https://doi.org/10.1109/IROS.2015.7354310>
- Beier, G., Ullrich, A., Niehoff, S., Reißig, M., & Habich, M. (2020). Industry 4.0: How it is defined from a sociotechnical perspective and how much sustainability it includes – A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 259(2020), 120856. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120856>

-
- Benos, L., Bechar, A., & Bochtis, D. (2020). Safety and ergonomics in human-robot interactive agricultural operations. *Biosystems Engineering*, 200(2020), 55–72. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.09.009>
- Berreby, D. (2020, Setembro). The robot revolution has arrived. *National Geographic*. <https://www.nationalgeographic.com/magazine/article/the-robot-revolution-has-arrived-feature>
- Bicchi A., Peshkin M.A., Colgate J.E. (2008) Safety for physical human–robot interaction. In Siciliano B., Khatib O. (Eds) *Springer Handbook of Robotic* (pp. 1335–1348). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-30301-5_58
- Bogue, R. (2018). Exoskeletons – a review of industrial applications. *Industrial Robot: An International Journal*, 45(5), 585–590. <https://doi.org/10.1108/IR-05-2018-0109>
- Bogue, R. (2020). Fruit picking robots: Has their time come? *The International Journal of Industrial and Service Robotics*, 47(2), 141–145. <https://doi.org/10.1108/IR-11-2019-0243>
- Bostelman, R., & Falco, J. (2012, fevereiro). *Survey of industrial manipulation technologies for autonomous assembly applications*. Intelligent Systems Division - National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.7844>
- Bridger, R. (2018). *Introduction to human factors and ergonomic* (4.^a edição). CRC Press.
- Bröhl, C., Nelles, J., Brandl, C., Mertens, A., & Schlick, C. M. (2016). TAM reloaded: A technology acceptance model for human-robot cooperation in production systems. In Stephanidis C. (Eds.) *HCI International 2016 – Posters' Extended Abstracts. HCI 2016. Communications in Computer and Information Science*, 617 (pp. 97-103). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40548-3_16
- Burt, B. A. (2001). Definitions of risk. *Journal of Dental Education*, 65(10), 1007–1008. <https://doi.org/10.1002/j.0022-0337.2001.65.10.tb03442.x>
- Busch, F., Wischniewski, S., & Deuse, J. (2013). Application of a character animation SDK to design ergonomic human-robot-collaboration. *2nd International Digital Human Modeling Symposium*, 1–7.
- Changizi, A., Dianatfar, M., & Lanz, M. (2019). Comfort design in human robot cooperative tasks. In Ahram T., Karwowski W., Taiar R. (Eds) *International Conference on Human Systems Engineering and Design: Future Trends and Application*, 876 (pp. 521–526) Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02053-8_79
- Claes, D., & Tuyls, K. (2015). Human Robot-Team Interaction. In Headleand C., Teahan W., Ap Cenydd L. (Eds.) *Artificial Life and Intelligent Agents. ALIA 2014. Communications in Computer and Information Science*, 519 (pp. 61-72). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18084-7_5
- Colgate, J. E., Peshkin, M., & Klostermeyer, S. H. (2003). Intelligent assist devices in industrial applications: A review. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 3(October), 2516–2521. <https://doi.org/10.1109/iros.2003.1249248>

- Correia Simões, A., Lucas Soares, A., & Barros, A. C. (2020). Factors influencing the intention of managers to adopt collaborative robots (cobots) in manufacturing organizations. *Journal of Engineering and Technology Management - JET-M*, 57(May), 101574. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2020.101574>
- Costa Mateus, J. E., Claeys, D., Limère, V., Cottyn, J., & Aghezzaf, E. H. (2019). Ergonomic and performance factors for human-robot collaborative workplace design and evaluation. *IFAC PapersOnLine*, 52(13), 2550–2555. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.590>
- Crawford, J. O., Graveling, R., Davis, A., Giagloglou, E., Fernandes, M., Markowska, A., Jones, M., & Fries-Tersch, E. (2020, dezembro). *Work-related musculoskeletal disorders: from research to practice. What can be learnt? European risk observatory report*. EU-OSHA. <https://doi.org/10.2802/118327>
- Cruz, V. S., Freitas, H. C., & Navaux, P. O. A. (2007). Proposta de expansão do conjunto de instruções do MIPS para robótica. *Concurso de Trabalhos de Iniciação Científica Do VIII Workshop Em Sistemas Computacionais de Alto Desempenho*, 1–5. <https://www.researchgate.net/publication/256199083>
- Dabir-Alai, P. (1998). Industrial evolution in developing countries: Micro patterns of turnover, productivity, and market structure. *Journal of Developing Areas*, 32(2), 286–287.
- Darvish, K., Wanderlingh, F., Bruno, B., Simetti, E., Mastrogiovanni, F., & Casalino, G. (2018). Flexible human–robot cooperation models for assisted shop-floor tasks. *Mechatronics*, 51(2018), 97–114. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2018.03.006>
- De Santis, A., Siciliano, B., De Luca, A., & Bicchi, A. (2008). An atlas of physical human-robot interaction. *Mechanism and Machine Theory*, 43(3), 253–270. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2007.03.003>
- Decreto-Lei n.º 50/2005, de 25 de fevereiro do Ministério das Actividades Económicas e do Trabalho. Diário da República, 1.ª série, N.º 40 (2005). Acedido a junho de 2021. Disponível em <https://www.dre.pt/>
- Decreto-Lei n.º 75/2011, de 20 de junho do Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento. Diário da República, 1.ª série, N.º 117 (2011). Acedido a junho de 2021. Disponível em <https://www.dre.pt/>
- Decreto-Lei n.º 103/2008, de 24 de junho do Ministério da Economia e da Inovação. Diário da República, 1.ª série, N.º 120 (2008). Acedido a junho de 2021. Disponível em <https://www.dre.pt/>
- Decreto-Lei n.º 128/93, de 22 de março do Ministério da Indústria e Energia. Diário da República, 1.ª série, N.º 94 (1993). Acedido a junho de 2021. Disponível em <https://www.dre.pt/>
- Decreto-Lei n.º 139/95, de 14 de junho do Ministério da Indústria e Energia. Diário da República, 1.ª série, N.º 136 (1995). Acedido a junho de 2021. Disponível em <https://www.dre.pt/>
- Decreto-Lei n.º 214/95, de 18 de agosto do Ministério da Indústria e Energia. Diário da República, 1.ª série, N.º 190 (2011). Acedido a junho de 2021. Disponível em <https://www.dre.pt/>

-
- Decreto-Lei n.º 349/93, de 1 de outubro do Ministério do Emprego e da Segurança Social. Diário da República, 1.ª série, N.º 349 (1993). Acedido a junho de 2021. Disponível em <https://www.dre.pt/>
- Decreto-Lei n.º 374/98, de 24 de novembro do Ministério da Economia. Diário da República, 1.ª série, N.º 272 (1998). Acedido a junho de 2021. Disponível em <https://www.dre.pt/>
- Dehais, F., Sisbot, E., Alami, R., & Causse, M. (2011). Physiological and subjective evaluation of a human–robot object hand-over task. *Applied Ergonomics*, 42(6), 785–791. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2010.12.005>
- Dekle, R. (2020). Robots and industrial labor: evidence from Japan. *Journal of the Japanese and International Economies*, 58(October), 101108. <https://doi.org/10.1016/j.jjie.2020.101108>
- Delvaux, M. (2017, janeiro). *Relatório que contém recomendações à comissão sobre disposições de direito civil sobre robótica*. Parlamento Europeu. https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-8-2017-0005_PT.html
- Desai, M., Kaniarasu, P., Medvedev, M., Steinfeld, A., & Yanco, H. (2013). Impact of robot failures and feedback on real-time trust. *8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 2013*, 251–258. <https://doi.org/10.1109/HRI.2013.6483596>
- Diretiva 2006/42/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 17 de maio de 2006. Jornal Oficial da União Europeia. Acedido a junho de 2021. Disponível em <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=pt>
- Dupont, E. M., Roberts, R. G., & Moore, C. A. (2006). The identification of terrains for mobile robots using eigenspace and neural network methods. *2006 Florida Conference on Recent Advances in Robotics, May 25-26*, 1–5.
- Erden, M. S., & Marić, B. (2011). Assisting manual welding with robot. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27(4), 818–828. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2011.01.003>
- EU-OSHA. (2015, junho). *Análise sobre o futuro do trabalho: Robótica*. <https://osha.europa.eu/pt/publications/future-work-robotics/view>
- EU-OSHA (2019, dezembro). *Digitalisation and occupational safety and health*. <https://osha.europa.eu/en/publications/digitalisation-and-occupational-safety-and-health-osh-eu-osha-research-programme/view>
- European Commission. (2012, setembro). *Public attitudes towards robots. Special eurobarometer*. https://ec.europa.eu/commfrontoffice/publicopinion/archives/ebs/ebs_382_en.pdf
- Faber, M., Kuz, S., Mertens, A., & Schlick, C. M. (2016). Model-based evaluation of cooperative assembly processes in human-robot collaboration. In Schlick C., Trzecieliński S. (Eds) *Advances in Ergonomics of Manufacturing: Managing the Enterprise of the Future. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 490, (pp. 27–31). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41697-7_10

- Fankhauser, P., & Hutter, M. (2018, maio). ANYmal: A unique quadruped robot conquering harsh environments. in research features. *Research Publishing International*. <https://researchfeatures.com/anymal-unique-quadruped-robot-conquering-harsh-environments/>
- FCT. (2019, novembro). *Agenda temática de i&i trabalho, robotização e qualificação para o emprego em Portugal*. <https://www.fct.pt/agendastematicas/trabrobqualempport.phtml.pt>
- Frohm, J., Lindström, V., Stahre, J., & Winroth, M. (2008). Levels of automation in manufacturing. *International Journal of Ergonomics and Human Factors*, 30(3), 71–74.
- Garabet, M., & Miron, C. (2010). Conceptual map - Didactic method of constructivist type during the physics lessons. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 3622–3631. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.564>
- Gaudiello, I., Zibetti, E., Lefort, S., Chetouani, M., & Ivaldi, S. (2016). Trust as indicator of robot functional and social acceptance. An experimental study on user conformation to iCub answers. *Computers in Human Behavior*, 61(2016), 633–655. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.03.057>
- Giuliani, M., & Knoll, A. (2013). Using embodied multimodal fusion to perform supportive and instructive robot roles in human-robot interaction. *International Journal of Social Robotics*, 5(3), 345–356. <https://doi.org/10.1007/s12369-013-0194-y>
- Gualtieri, L., Palomba, I., Wehrle, E., & Vidoni, R. (2020a). The opportunities and challenges of sme manufacturing automation: Safety and ergonomics in human–robot collaboration. In D. Matt, V. Modrák, & H. Zsifkovits (Eds.), *Industry 4.0 for SMEs: Challenges, Opportunities and Requirements* (pp. 105–144). Springer Nature Switzerland AG. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25425-4_4
- Gualtieri, L., Rauch, E., Vidoni, R., & Matt, D. T. (2020). Safety, Ergonomics and Efficiency in Human-Robot Collaborative Assembly: Design Guidelines and Requirements. *Procedia CIRP*, 91, 367–372. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.188>
- Gurel, E. (2017). SWOT analysis: A theoretical review. *Journal of International Social Research*, 10(51), 994–1006. <https://doi.org/10.17719/jisr.2017.1832>
- Haddadin, S., Albu-Schäffer, A., De Luca, A., & Hirzinger, G. (2008). Collision detection and reaction: A contribution to safe physical human-robot interaction. *2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS*, 3356–3363. <https://doi.org/10.1109/IROS.2008.4650764>
- Haddadin, S., Parusel, S., Belder, R., & Albu-Schaffe, L. (2013). It is (almost) all about human safety: A novel paradigm for robot design, control, and planning. 32nd International Conference, SAFECOMP 2013, 202–215.
- Hancock, P. A., Billings, D. R., Schaefer, K. E., Chen, J. Y. C., De Visser, E. J., & Parasuraman, R. (2011). A meta-analysis of factors affecting trust in human-robot interaction. *Human Factors*, 53(5), 517–527. <https://doi.org/10.1177/0018720811417254>

-
- Hashemi-Petroodi, S. E., Thevenin, S., Kovalev, S., & Dolgui, A. (2020). Operations management issues in design and control of hybrid human-robot collaborative manufacturing systems: a survey. *Annual Reviews in Control*, 49, 264–276. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2020.04.009>
- Hedge, A., James, T., & Pavlovic-Veselinovic, S. (2011). Ergonomics concerns and the impact of healthcare information technology. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41(4), 345–351. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2011.02.002>
- Hegde, G. (2006). *A Textbook on Industrial Robotics* (1.^a Edição) N. D. L. Publications.
- Heuer, H. (2001). Ergonomics, cognitive psychology of. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 4734–4736. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/01614-4>
- Holden, R. J., Abebe, E., Russ-Jara, A. L., & Chui, M. A. (2021). Human factors and ergonomics methods for pharmacy research and clinical practice. *Research in Social and Administrative Pharmacy*. <https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2021.04.024>
- IFA. (2013, abril). *How should workplaces involving collaborative robots be designed*. Institut fuer Arbeitsschutz der Deutschen. https://www.dguv.de/medien/ifa/en/pub/ada/pdf_en/aifa0348e.pdf
- Inagaki, T. (2003). Adaptive automation: Sharing and trading of control. In E. Hollnagel (Ed.), *Handbook of Cognitive Task Design*, 8 (pp. 147–169). LEA. <https://doi.org/10.1299/jsmetld.2001.10.79>
- ISO 8373:2012: Robots and robotic devices — Vocabulary (2.^a Edição). ISO/TC 299 Robotics. Acedido a junho de 2021. Disponível em <https://www.iso.org/home.html>
- ISO 6385:2016: Ergonomics principles in the design of work systems (3.^a Edição). ISO/TC 159/SC 1. Acedido a junho de 2021. Disponível em <https://www.iso.org/home.html>
- ISO 10218-1:2011: Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 1: Robots (2.^a Edição). ISO/TC 299. Acedido a junho de 2021. Disponível em <https://www.iso.org/home.html>
- ISO 10218-2:2011: Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 2: Robot systems and integration. (1.^a Edição). ISO/TC 299. Acedido a junho de 2021. Disponível em <https://www.iso.org/home.html>
- ISO 12100:2010: Safety of machinery — General principles for design — Risk assessment and risk reduction (1.^a Edição). ISO/TC 199. Acedido a junho de 2021. Disponível em <https://www.iso.org/home.html>
- ISO/TS 15066:2016: Robots and robotic devices — Collaborative robots (1.^a Edição). ISO/TC 299. Acedido a junho de 2021. Disponível em <https://www.iso.org/home.html>
- Jensen, R. (2012). *Risk-reduction methods for occupational safety and health* (1. Edição). Wiley.

- Jocelyn, S., Bulet-Vienney, D., & Giraud, L. (2017). Experience feedback on implementing and using human-robot collaboration in the workplace. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 61(1), 1690–1694. <https://doi.org/10.1177/1541931213601911>
- Kaneko, K., Kaminaga, H., Sakaguchi, T., Kajita, S., Morisawa, M., Kumagai, I., & Kanehiro, F. (2019). Humanoid robot HRP-5P: An electrically actuated humanoid robot with high-power and wide-range joints. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 4(2), 1431–1438. <https://doi.org/10.1109/LRA.2019.2896465>
- Kim, W., Lee, J., Peternel, L., Tsagarakis, N., & Ajoudani, A. (2018). Anticipatory robot assistance for the prevention of human static joint overloading in human-robot collaboration. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(1), 68–75. <https://doi.org/10.1109/LRA.2017.2729666>
- King, N. C. de O., Lima, E. P. de, & Costa, S. E. G. da. (2013). *Produtividade sistêmica: conceitos e aplicações*. *Production*, 24(1), 160–176. <https://doi.org/10.1590/s0103-65132013005000006>
- Kitchenham, B. (2004, julho). *Procedures for performing systematic reviews*. Keele University. <https://doi.org/10.1.1.122.3308>
- Kok, J. N., Boers, E. J. W., Kusters, W. A., Putten, P. Van Der, & Poel, M. (2010). *Artificial intelligence: definition, trends, techniques and cases*. Encyclopedia of Life Support Systems. <http://www.eolss.net/sample-chapters/c15/e6-44.pdf>
- Kolbeinsson, A., Lagerstedt, E., & Lindblom, J. (2018). Classification of collaboration levels for human-robot cooperation in manufacturing. In P. Thorvald & K. Case (Eds.), *Advances in Transdisciplinary Engineering* (pp. 151–156). IOS Press. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-902-7-151>
- Koopmans, L., Bernaards, C. M., Hildebrandt, V. H., Schaufeli, W. B., De Vet Henrica, C. W., & Van Der Beek, A. J. (2011). Conceptual frameworks of individual work performance: A systematic review. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 53(8), 856–866. <https://doi.org/10.1097/JOM.0b013e318226a763>
- Koradecka, D. (2010). *Handbook of occupational safety and health* (1.º Edição). CRC Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/EBK1439806845>
- Kumar, S., & Sahin, F. (2017). A framework for an adaptive human-robot collaboration approach through perception-based real-time adjustments of robot behavior in industry. *12th System of Systems Engineering Conference*, 2017, 1–6. <https://doi.org/10.1109/SYSESE.2017.7994967>
- Lamon, E., De Franco, A., Peternel, L., & Ajoudani, A. (2019). A capability-aware role allocation approach to industrial assembly tasks. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 4(4), 3378–3385. <https://doi.org/10.1109/LRA.2019.2926963>
- Lasota, P. A., Rossano, G. F., & Shah, J. A. (2014). Toward safe close-proximity human-robot interaction with standard industrial robots. *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, 2014, 339–344. <https://doi.org/10.1109/CoASE.2014.6899348>

-
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The internet of things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431–440. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2015.03.008>
- Lee, J., & See, K. (2004). Trust in automation: Designing for appropriate reliance. *Human Factors*, 46(1), 50–80. https://doi.org/10.1518/hfes.46.1.50_30392
- Lei n.º 58/2019, de 8 de agosto da Assembleia da República. Diário da República, 1.ª série, N.º 58 (2019). Acedido a junho de 2021. Disponível em <https://www.dre.pt/>
- Lei n.º 98/2009, de 4 de setembro da Assembleia da República. Diário da República, 1.ª série, N.º 172 (2009). Acedido a junho de 2021. Disponível em <https://www.dre.pt/>
- Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro da Assembleia da República. Diário da República, 1.ª série, N.º 176 (2009). Acedido a junho de 2021. Disponível em <https://www.dre.pt/>
- León, O., Hernández-Serrano, J., & Soriano, M. (2010). Securing cognitive radio networks. *International Journal of Communication Systems*, 23(5), 633–652. <https://doi.org/10.1002/dac>
- Liu, C., Hamrick, J. B., Fisac, J. F., Dragan, A. D., Hedrick, J. K., Sastry, S. S., & Griffiths, T. L. (2016). Goal inference improves objective and perceived performance in human-robot collaboration. *Proceedings of the 2016 International Conference on Autonomous Agents & Multiagent Systems*, 940–948.
- Longo, F., Padovano, A., Gazzaneo, L., Frangella, J., & Diaz, R. (2021). Human factors, ergonomics and industry 4.0 in the oil&gas industry: A bibliometric analysis. *Procedia Computer Science*, 180(2019), 1049–1058. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.350>
- Losey, D. P., & O'Malley, M. K. (2019). Enabling Robots to Infer How End-Users Teach and Learn Through Human-Robot Interaction. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 4(2), 1–8. <https://doi.org/10.1109/LRA.2019.2898715>
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- Luttmann, A., Jager, M., & Griefahn, B. (2003). Preventing musculoskeletal disorders in the workplace. *World Health Organisation Report Geneva*, 5, 1–32. <https://doi.org/http://www.who.int/iris/handle/10665/42651>
- Marvel, J. A., Bagchi, S., Zimmerman, M., & Antonishek, B. (2020). Towards effective interface designs for collaborative HRI in manufacturing. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction*, 9(4), 1–5. <https://doi.org/10.1145/3385009>
- Mateus, J., Claeys, D., Limère, V., Cottyn, J., & Aghezzaf, E.-H. (2019). Ergonomic and performance factors for Human-robot collaborative workplace design and evaluation. *IFAC PapersOnLine*, 52-13(2019), 2550–2555. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.590>
- Maurice, Pauline. (2015, junho). *Virtual ergonomics for the design of collaborative robots* [Tese de doutoramento, Université Pierre et Marie Curie]. HAL. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01171482v2>
-

- Maurice, Pauline, Padois, V., Measson, Y., Bidaud, P., Maurice, P., Padois, V., Measson, Y., & Bidaud, P. (2016). A digital human tool for guiding the ergonomic design of collaborative robots. *4th International Digital Human Modeling Symposium (DHM2016)*.
- Maurice, Pierre, Lavoie, M., Laflamme, L., Svanström, L., Romer, C., & Anderson, R. (2001). Safety and safety promotion: definitions for operational developments. *Injury Control and Safety Promotion*, 8(4), 237–240. <https://doi.org/10.1076/icsp.8.4.237.3331>
- McGhan, C. L. R., & Atkins, E. M. (2014a). Human productivity in a workspace shared with a safe robotic manipulator. *Journal of Aerospace Information Systems*, 11(1), 1–18. <https://doi.org/10.2514/1.54993>
- Meier, C. (2016). *Digital supply chain management*. Digital Enterprise Transformation (2.º Edição). Routledge.
- Meisner, E., Isler, V., & Trinkle, J. (2008). Controller design for human-robot interaction. *Autonomous Robots*, 24(2), 123–134. <https://doi.org/10.1007/s10514-007-9054-7>
- Mendes, J. A. (2006). *Industrialização e património industrial: desenvolvimento e cultura*. VIII Curso de Verão Da Ericeira.
- Meziane, R., Li, P., Otis, M. J. D., Ezzaidi, H., & Cardou, P. (2014). Safer hybrid workspace using human-robot interaction while sharing production activities. *IEEE International Symposium on Robotic and Sensors Environments (ROSE) Proceedings*, 2014, 37–42. <https://doi.org/10.1109/ROSE.2014.6952980>
- Michalos, G., Karagiannis, P., Makris, S., Tokçalar, Ö., & Chryssolouris, G. (2016). Augmented reality (AR) applications for supporting human-robot interactive cooperation. *48th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 41, 370–375. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.005>
- Morioka, M., & Sakakibara, S. (2010). A new cell production assembly system with human-robot cooperation. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 59(1), 9–12. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.03.044>
- Müller, R., Vette, M., & Scholer, M. (2014). Inspector robot - A new collaborative testing system designed for the automotive final assembly line. *5th CATS 2014 - CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems*, 23, 59–64. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.093>
- Neves, P. (2007, janeiro). Grandes empresas industriais de um país pequeno: Portugal. Da década de 1880 à 1.ª guerra mundial. [Tese de doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa]. Repositório da Universidade de Lisboa. <http://hdl.handle.net/10400.5/525>
- Oloff, H., Liu, Y., Kumar, M., & Williams, M. (2018). Integrating Intelligence and Knowledge of Human Factors to Facilitate Collaboration in Manufacturing. *Proceedings of the ASME 2018 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*, 1–10. <https://doi.org/10.1115/detc2018-85805>
- Omron Adept Technologies, I. (2016). *Omron adept viper S650/s850 robot with MB-60R/eMB-60R*.

https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v3/i599_viper_650_850_robot_with_emb-60r_users_manual_en.pdf

- Oyekan, J. O., Hutabarat, W., Tiwari, A., Grech, R., Aung, M. H., Mariani, M. P., López-Dávalos, L., Ricaud, T., Singh, S., & Dupuis, C. (2019). The effectiveness of virtual environments in developing collaborative strategies between industrial robots and humans. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 55(2019), 41–54. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.07.006>
- Pang, G., Deng, J., Wang, F., Zhang, J., Pang, Z., & Yang, G. (2018). Development of flexible robot skin for safe and natural human-robot collaboration. *Micromachines*, 9(576), 1–15. <https://doi.org/10.3390/mi9110576>
- Park, M. H., Kim, H. G., & Cho, J. H. (2015). Risk factors for musculoskeletal symptoms among korean broadcast actors. *Annals of Global Health*, 81(4), 475–481. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2015.06.001>
- Pearce, M., Mutlu, B., Shah, J., & Radwin, R. (2018). Optimizing makespan and ergonomics in integrating collaborative robots into manufacturing processes. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 15(4), 1772–1784. <https://doi.org/10.1109/TASE.2018.2789820>
- Pérez D., Alarcón F, B. A. (2016). Industry 4.0: A classification scheme. In Viles E., Ormazábal M., Lleó A. (Eds.) *Closing the Gap Between Practice and Research in Industrial Engineering. Lecture Notes in Management and Industrial Engineering* (pp. 343-350). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58409-6_38
- Portaria n.º 172/2000, de 23 de março do Ministério da Economia. Diário da República, 1.ª série, N.º 70 (2000). Acedido a junho de 2021. Disponível em <https://www.dre.pt/>
- Portaria n.º 989/93, de 6 de outubro do Ministério do Emprego e da Segurança Social. Diário da República, 1.ª série, N.º 989 (1993). Acedido a junho de 2021. Disponível em <https://www.dre.pt/>
- Rabby, K. M., Khan, M., Karimodini, A., & Jiang, S. X. (2019). An effective model for human cognitive performance within a human-robot collaboration framework. *Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2019, 3872–3877. <https://doi.org/10.1109/SMC.2019.8914536>
- Rampersad, G. (2020). Robot will take your job: Innovation for an era of artificial intelligence. *Journal of Business Research*, 116(May), 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.05.019>
- Ratsamee, P., Mae, Y., Kamiyama, K., Horade, M., Kojima, M., & Arai, T. (2015). Social interactive robot navigation based on human intention analysis from face orientation and human path prediction. *ROBOMECH Journal*, 2(1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/s40648-015-0033-z>
- Rauch, E., Vickery, A. R., Brown, C. A., & Matt, D. T. (2020). SME requirements and guidelines for the design of smart and highly adaptable manufacturing systems. In Matt D., Modrák V.,

- Zsifkovits H. (Eds.). *Industry 4.0 for SMEs*. Palgrave Macmillan, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25425-4_2
- Reinhardt, J., Pereira, A., Beckert, D., & Bengler, K. (2017). Dominance and movement cues of robot motion: A user study on trust and predictability. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 2017, 1493–1498. <https://doi.org/10.1109/SMC.2017.8122825>
- Roberts, A. (2018). *Verdadeira história da ficção científica* (1.ª Edição). Editora Seoman.
- Rojas, R. A., Garcia, M. A. R., Gualtieri, L., & Rauch, E. (2020). Combining safety and speed in collaborative assembly systems - An approach to time optimal trajectories for collaborative robots. *Procedia CIRP*, 97, 308–312. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.08.003>
- Rojas, R. A., Garcia, M. A. R., Wehrle, E., & Vidoni, R. (2019). A variational approach to minimum-jerk trajectories for psychological safety in collaborative assembly stations. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 4(2), 823–829. <https://doi.org/10.1109/LRA.2019.2893018>
- Román Ibáñez, V., Pujol, F. A., García Ortega, S., & Sanz Perpiñán, J. M. (2021). Collaborative robotics in wire harnesses spot taping process. *Computers in Industry*, 125(2021), 103370. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103370>
- Romano, V., & Dutra, M. (2002). *Introdução à robótica industrial* (1.ª Edição). Editora Edgard Blücher Ltda.
- Sadrifaridpour, B., Saeidi, H., Burke, J., Madathil, K., & Wang, Y. (2016). Modeling and control of trust in human-robot collaborative manufacturing. In: Mittu R., Sofge D., Wagner A., Lawless W. (Eds.) *Robust Intelligence and Trust in Autonomous Systems* (pp. 115-142). Springer, Boston. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7668-0_7
- Sadrifaridpour, B., & Wang, Y. (2018). Collaborative assembly in hybrid manufacturing cells: an integrated framework for human-robot interaction. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 15(3), 1178–1192. <https://doi.org/10.1109/TASE.2017.2748386>
- Safeea, M., Mendes, N., & Neto, P. (2017). Minimum distance calculation for safe human robot interaction. *Procedia Manufacturing*, 11 (2017), 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.157>
- Salem, M., Lakatos, G., Amirabdollahian, F., & Dautenhahn, K. (2015). Would you trust a (faulty) robot? Effects of error, task type and personality on human-robot cooperation and trust. *ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 2015* (March), 141–148. <https://doi.org/10.1145/2696454.2696497>
- Sauer, J., Nickel, P., & Wastell, D. (2013). Designing automation for complex work environments under different levels of stress. *Applied Ergonomics*, 44(1), 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.05.008>
- Savela, N., Turja, T., & Oksanen, A. (2018). Social acceptance of robots in different occupational fields: A systematic literature review. *International Journal of Social Robotics*, 10(4), 493–502. <https://doi.org/10.1007/s12369-017-0452-5>

-
- Schiavico, L., & Siciliano, B. (1995). *Robotica industriale - modellistica e controllo di manipolatori* (1.^a Edizione).
- Schneider, E., & Irastorza, X. (2010). *OSH in figures: Work-related musculoskeletal disorders in the EU — Facts and figures*. EU-OSHA. <https://doi.org/10.2802/10952>
- Schulz, R., Kratzer, P., & Toussaint, M. (2018). Preferred interaction styles for human-robot collaboration vary over tasks with different action types. *Frontiers in Neurorobotics*, 12(36), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2018.00036>
- Servoz, M. (2019). *The future of work? Work of the future! On how artificial intelligence, robotics and automation are transforming jobs and the economy in Europe*. European Political Strategy Centre. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/096526d7-17d8-11ea-8c1f-01aa75ed71a1>
- Srinivas, P., Cornet, V., & Holden, R. (2017). Human factors analysis, design, and evaluation of engage, a consumer health it application for geriatric heart failure self-care. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 33(4), 298–312. <https://doi.org/10.1080/10447318.2016.1265784>
- Thatcher, A., Waterson, P., Todd, A., & Moray, N. (2018). State of Science: ergonomics and global issues. *Ergonomics*, 61(2), 197–213. <https://doi.org/10.1080/00140139.2017.1398845>
- Tian, Y., Chen, Z., Jia, T., Wang, A., & Li, L. (2016). Sensorless collision detection and contact force estimation for collaborative robots based on torque observer. *Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, 2016, 946–951. <https://doi.org/10.1109/ROBIO.2016.7866446>
- Turing, A. (2004). *The essential Turing* (1.^a Edizione). Clarendon Press.
- Unhelkar, V. V., Lasota, P. A., Tyroller, Q., Buhai, R. D., Marceau, L., Deml, B., & Shah, J. A. (2018). Human-aware robotic assistant for collaborative assembly: integrating human motion prediction with planning in time. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(3), 2394–2401. <https://doi.org/10.1109/LRA.2018.2812906>
- Universal Robots. (2012). *Descubra os cobots: 10 passos simples*. <https://www.universal-robots.com/media/1808379/universal-robots-descubra-os-cobots-10-passos-simples.pdf>
- Ushijima, B. (2018, dezembro). Robots on patrol. *Science & Technology*. <https://www.gov-online.go.jp/pdf/hlj/20181201/24-25.pdf>
- Vicentini, F. (2017). La robotica collaborativa - Sicurezza e flessibilità delle nuove forme di collaborazione uomo-robot. *Tecniche Nuove*.
- Vicentini, F., Askarpour, M., Rossi, M. G., & Mandrioli, D. (2020). Safety assessment of collaborative robotics through automated formal verification. *IEEE Transactions on Robotics*, 36(1), 42–61. <https://doi.org/10.1109/TRO.2019.2937471>

- Virmani, N., & Ravindra Salve, U. (2020). Assessment of key barriers for incorporating ergonomics inventions and suppress work-related musculoskeletal disorders. *Materials Today: Proceedings*, 38(2021), 2601–2606. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.160>
- Viswesvaran, C., & Ones, D. S. (2000). Perspectives on models of job performance. *International Journal of Selection and Assessment*, 8(4), 216–226. <https://doi.org/10.1111/1468-2389.00151>
- Vries, G. J., Gentile, E., Miroudot, S., & Wacker, K. M. (2020). The rise of robots and the fall of routine jobs. *Labour Economics*, 66(June), 101885. <https://doi.org/10.1016/j.labeco.2020.101885>
- Wan, J., Yang, J., Wang, S., Li, D., Li, P., & Xia, M. (2020). Cross-network fusion and scheduling for heterogeneous networks in smart factory. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(9), 6059–6068. <https://doi.org/10.1109/TII.2019.2952669>
- Wang, Y., Lematta, G. J., Hsiung, C.-P., Rahm, K. A., Chiou, E. K., & Zhang, W. (2019). Quantitative modeling and analysis of reliance in physical human–machine coordination. *Journal of Mechanisms and Robotics*, 11(6), 64–70. <https://doi.org/10.1115/1.4044545>
- Weckenborg, C., & Spengler, T. S. (2019). Assembly line balancing with collaborative robots under consideration of ergonomics: A cost-oriented approach. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 1860–1865. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.473>
- Wilson, J. R. (2014). Fundamentals of systems ergonomics/human factors. *Applied Ergonomics*, 45(1), 5–13. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.03.021>
- Xu, L. Da, Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Zacharaki, A., Kostavelis, I., Gasteratos, A., & Dokas, I. (2020). Safety bounds in human robot interaction: A survey. *Safety Science*, 127(February), 104667. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104667>
- Zeeshan Baig, M., & Kavakli, M. (2019). A survey on psycho-physiological analysis & measurement methods in multimodal systems. *Multimodal Technologies and Interaction*, 3(2), 1–20. <https://doi.org/10.3390/mti3020037>
- Zinn, M., Roth, B., Khatib, O., & Salisbury, J. K. (2004). A new actuation approach for human friendly robot design. *International Journal of Robotics Research*, 23(4–5), 379–398. <https://doi.org/10.1177/0278364904042193>
- Zöllner, G., Wall, V., & Brock, O. (2018). Acoustic Contact Sensing for Soft Pneumatic Actuators. *2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2018, 6986–6991. <https://doi.org/10.1109/IROS.2018.8594396>

APÊNDICES

Apêndice I – Listagem de estudos constantes da revisão sistemática da literatura.

Autores	Título	Ano	Publicação
Lamon E., Alessandro F., Luka P., Arash A.	<i>A capability-aware role allocation approach to industrial assembly tasks</i>	2019	<i>IEEE Robotics and Automation Letters</i>
Kumar S., Sahin F.	<i>A framework for an adaptive human-robot collaboration approach through perception-based real-time adjustments of robot behavior in industry</i>	2017	<i>12th System of Systems Engineering Conference</i>
Cirillo M., Karlsson L., Saffiotti A.	<i>A variational approach to minimum-jerk trajectories for psychological safety in collaborative assembly stations</i>	2019	<i>IEEE Robotics and Automation Letters</i>
Rabby K. M., Khan M., Karimodini, A., Jiang S. X.	<i>An effective model for human cognitive performance within a human-robot collaboration framework</i>	2019	<i>IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics</i>
Kim W., Lee J., Peternel L., Tsagarakis N., Ajoudani A.	<i>Anticipatory robot assistance for the prevention of human static joint overloading in human-robot collaboration</i>	2018	<i>IEEE Robotics and Automation Letters</i>
Michalos G., Karagiannis P., Makris S., Tokçalar Ö., Chryssolouris G.	<i>Augmented reality (AR) applications for supporting human-robot interactive cooperation</i>	2016	<i>Procedia CIRP</i>
Sadrfaridpour B., Wang, Y.	<i>Collaborative assembly in hybrid manufacturing cells: an integrated framework for human-robot interaction</i>	2003	<i>Robotics Research. Springer Tracts in Advanced Robotics</i>
Alireza C., Morteza D., Minna L.	<i>Comfort design in human robot cooperative tasks</i>	2003	<i>Advances in Intelligent Systems and Computing</i>
Pang G., Deng J., Wang F., Zhang J., Pang Z., Yang G.	<i>Development of flexible robot skin for safe and natural human-robot collaboration</i>	2018	<i>Micromachines</i>
Reinhardt J., Pereira A., Beckert D., Bengler K.	<i>Dominance and movement cues of robot motion a user study on trust and predictability</i>	2017	<i>IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics</i>
Losey D. P., O'Malley M. K.	<i>Enabling robots to infer how end-users teach and learn through human-robot interaction</i>	2019	<i>IEEE Robotics and Automation Letters</i>
Costa Mateus J. E., Claeys D., Limère V., Cottyn J., Aghezaf E. H.	<i>Ergonomic and performance factors for human-robot collaborative workplace design and evaluation</i>	2019	<i>IFAC-PapersOnLine</i>
Jocelyn S., Burlet-Vienney D., Giraud L.	<i>Experience feedback on implementing and using human-robot collaboration in the workplace</i>	2017	<i>Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society</i>
Kourosh D., Francesco W., Barbara B., Enrico S. Fulvio Mastrogiovanni, Giuseppe Casalino	<i>Flexible human-robot cooperation models for assisted shop-floor tasks</i>	2018	<i>Mechatronics</i>
Liu C., Hamrick J. B., Fisac J. F., Dragan A. D., Hedrick J. K., Sastry S. S., Griffiths T. L.	<i>Goal inference improves objective and perceived performance in human-robot collaboration</i>	2016	<i>Proceedings of the International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems</i>
McGhan C. L. R., Atkins E. M.	<i>Human productivity in a workspace shared with a safe robotic manipulator</i>	2014	<i>Journal of Aerospace Information Systems</i>
Daniel C., Karl T.	<i>Human robot-team interaction towards the factory of the future</i>	2015	<i>Artificial Life and Intelligent Agents Symposium</i>
Unhelkar, V. V., Lasota, P. A., Tyroller, Q., Buhai, R. D., Marceau, L., Deml, B., & Shah, J. A	<i>Human-aware robotic assistant for collaborative assembly: integrating human motion prediction with planning in time</i>	2018	<i>IEEE Robotics and Automation Letters</i>
Desai M., Kaniarasu P., Medvedev M., Steinfeld A., Yanco H.	<i>Impact of robot failures and feedback on real-time trust</i>	2013	<i>IEEE International Conference on Human-Robot Interaction</i>
Müller R., Vette, M., Scholer M.	<i>Inspector robot - a new collaborative testing system designed for the automotive final assembly line</i>	2014	<i>Procedia CIRP</i>
Oloff H., Liu Y., Kumar M., Williams M.	<i>Integrating intelligence and knowledge of human factors to facilitate collaboration in manufacturing</i>	2003	<i>IEEE/SJ Conference on Intelligent Robots and Systems</i>
Safeea M., Mendes N., Neto P.	<i>Minimum distance calculation for safe human robot interaction</i>	2017	<i>Procedia Manufacturing</i>
Faber M., Kuz S., Mertens A., Schlick C. M.	<i>Model-based evaluation of cooperative assembly processes in human-robot collaboration</i>	2016	<i>2016 International Conference on Human Aspects of Advanced Manufacturing</i>

Autores	Título	Ano	Publicação
Sadrifaridpour B., Saeidi H., Wang Y., Burke J.	<i>Modeling and control of trust in human-robot collaborative manufacturing</i>	2016	<i>AAAI Spring Symposium</i>
Pearce M., Mutlu B., Shah J., Radwin R.	<i>Optimizing makespan and ergonomics in integrating collaborative robots into manufacturing processes</i>	2018	<i>IEEE Transactions on Automation Science and Engineering</i>
Schulz R., Kratzer P., Toussaint M.	<i>Preferred interaction styles for human-robot collaboration vary over tasks with different action types</i>	2018	<i>Frontiers in Neurorobotics</i>
Wang Y., Lematta G. J., Hsiung C.-P., Rahm K. A., Chiou E. K., Zhang W.	<i>Quantitative modeling and analysis of reliance in physical human-machine coordination</i>	2019	<i>Journal of Mechanisms and Robotics</i>
Michael B., Georg B., Alin A., Ferenc B., Rico B., Daniel B., Sami H., Alexis M., Nico M., Thiemo W., Roman W., Jan-Hendrik W.	<i>Robotic agents capable of natural and safe physical interaction with human co-workers</i>	2015	<i>IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems</i>
Meziane R., Li P., Otis M. J. D., Ezzaidi H., Cardou P.	<i>Safer hybrid workspace using human-robot interaction while sharing production activities</i>	2014	<i>IEEE International Symposium on Robotic and Sensors Environments</i>
Tian Y., Chen Z., Jia T., Wang A., Li L.	<i>Sensorless collision detection and contact force estimation for collaborative robots based on torque observer</i>	2016	<i>IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics</i>
Bröhl C., Nelles J., Brandl C., Mertens A., Schlick C. M.	<i>TAM reloaded: a technology acceptance model for human-robot cooperation in production systems</i>	2016	<i>Communications in Computer and Information Science</i>
Oyekan J. O., Hutabarat W., Tiwari, A., Grech R., Aung M. H., Mariani M. P., Dupuis C.	<i>The effectiveness of virtual environments in developing collaborative strategies between industrial robots and humans</i>	2019	<i>Robotics and Computer-Integrated Manufacturing</i>
Giuliani, M., Alois K.	<i>Using embodied multimodal fusion to perform supportive and instructive robot roles in human-robot interaction</i>	2013	<i>International Journal of Social Robotics</i>