

**UNIVERSIDADE DE SOROCABA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROCESSOS TECNOLÓGICOS E
AMBIENTAIS**

Antonio Garcia Netto

**TECNOLOGIAS ENVOLVIDAS E COMPETÊNCIAS NECESSÁRIAS NA
ROBÓTICA DA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL:
A ATUAÇÃO DE INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR NA GERAÇÃO DO
CONHECIMENTO NECESSÁRIO AO ROBOTICISTA.**

**Sorocaba/SP
2020**

Antonio Garcia Netto

**TECNOLOGIAS ENVOLVIDAS E COMPETÊNCIAS NECESSÁRIAS NA
ROBÓTICA DA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL:
A ATUAÇÃO DE INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR NA GERAÇÃO DO
CONHECIMENTO NECESSÁRIO AO ROBOTICISTA.**

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do título de Mestre em Processos Tecnológicos e Ambientais no programa de Mestrado Profissional em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba – UNISO.

Orientador: Professor Doutor Waldemar Bonventi Junior

**Sorocaba/SP
2020**

B714t Garcia Netto, Antonio
Tecnologias envolvidas e competências necessárias na robótica da quarta revolução industrial : a atuação de instituições de ensino superior na geração do conhecimento necessário ao robótico / Antonio Garcia Netto. – 2020.
151 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Waldemar Bonventi Junior
Dissertação (Mestrado em Processos Tecnológicos e Ambientais)
– Universidade de Sorocaba, Sorocaba, SP, 2020.

1. Robótica. 2. Robótica – Estudo e ensino (Pós-graduação). 3. Automação industrial. 4. Universidades e faculdades - Pós-graduação. I. Bonventi Junior, Waldemar, orient. II. Universidade de Sorocaba. III. Título.

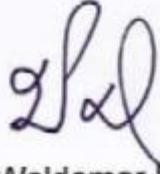
Antonio Garcia Netto

**TECNOLOGIAS ENVOLVIDAS E COMPETÊNCIAS NECESSÁRIAS NA
ROBÓTICA DA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL:
A ATUAÇÃO DE INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR NA GERAÇÃO DO
CONHECIMENTO NECESSÁRIO AO ROBOTICISTA.**

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do título de Mestre em Processos Tecnológicos e Ambientais no programa de Mestrado Profissional em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba – UNISO.

Aprovado em: 30/04/2020

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Waldemar Bonventi Junior
Universidade de Sorocaba



Prof. Dr. Galdenoro Botura Junior
UNESP – Universidade Estadual Paulista



Profa. Dra. Maira de Lourdes Rezende
Faculdade de Tecnologia José Crespo Gonzales

Dedico este trabalho à minha esposa e às
minhas filhas, que sempre me apoiaram
nas minhas escolhas e estiveram ao meu
lado, incentivando minhas decisões.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa e filhas, sem seu apoio, compreensão e paciência não existiria este trabalho.

Ao Prof. Dr. Waldemar Bonventi Junior, que aceitou o desafio e com sua orientação possibilitou a realização deste trabalho.

Um obrigado especial ao Prof. Dr. Galdenoro Botura Junior e a Profa. Dra. Maira de Lourdes Rezende, que com suas observações precisas permitiram o aperfeiçoamento do trabalho realizado.

Ao Prof. Me. Samuel Mendes Franco por auxiliar na elaboração deste projeto e por compartilhar seus conhecimentos e ideias.

À Profa. Itália Aparecida Zanzarini Iano, por ter compartilhado seus estudos e pesquisas nesta área.

Aos colegas professores e coordenadores de cursos pelo apoio e conselhos.

Um agradecimento especial aos meus saudosos pais, sem o sacrifício deles eu nunca teria chegado onde cheguei, obrigado pai, este título é seu.

“Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui, nunca desista de seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser a vitoriosa”.
(Albert Einstein).

RESUMO

A dinâmica, motivação e produtividade desejada nas indústrias, comércio e serviços pode ser obtida com o auxílio da tecnologia, em particular com a utilização da robótica e dos conceitos e tecnologias descritos na Indústria 4.0. A robótica teve início na Terceira Revolução Industrial com a robótica antropomórfica e em seguida com os robôs móveis AGV – *Automated Guided Vehicle*. No presente trabalho, se analisam as tecnologias, e os conhecimentos e habilidades necessárias para o profissional robótico atuar nessa robótica industrial. A evolução é apresentada com os robôs autônomos. Na Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 a robótica autônoma é apresentada como um dos seus pilares tecnológicos. Partindo da análise das tecnologias envolvidas nas três primeiras Revoluções Industriais chega-se a um grupo de tecnologias que fazem parte da robótica autônoma com destaque para a Inteligência Artificial e a Conectividade. Com o objetivo de identificar o que está sendo proposto no ensino da robótica, fez-se uma pesquisa exploratória de caráter qualitativo, em 50 cursos ou disciplinas de robótica apresentados por instituições de ensino superior, em níveis de graduação e pós-graduação, realizada em Universidades e Instituições de Ensino Superior do Brasil e do exterior. Foram verificadas a linha de atuação, seus componentes e matérias. Na sequência identificou-se aqueles que tem sua abordagem mais voltada a robótica autônoma. O resultado está na proposta de um conjunto de disciplinas que formam a estrutura básica para um curso de pós graduação nessa nova robótica. As matérias a serem desenvolvidas em cada disciplina são apresentadas no quadro final deste trabalho. Elas não esgotam o assunto em si, mas fornecem o caminho do conhecimento e da habilidade necessária aos robóticos para atuarem dentro das premissas da robótica da Quarta Revolução Industrial.

Palavras-chave: Robótica, Robótica Autônoma, Indústria 4.0, Quarta Revolução Industrial, Ensino de Robótica.

ABSTRACT

The dynamics, motivation and productivity wished in the industries, commerce and services can be obtained with the help of technology, in particular using robotics and the concepts of technologies described in Industry 4.0. Robotics had begun in the Third Industrial Revolution with anthropomorphic robotics and then with AGV - Automated Guided Vehicle mobile robots. In this work, technologies, knowledge, and necessary skills for the roboticist professional to work in this industrial robotics are analyzed. The evolution is presented with autonomous robots. In the Fourth Industrial Revolution or Industry 4.0 autonomous robotics is presented as one of its technological pillars. Based on the analysis of the technologies involved in the first three Industrial Revolutions, it shows a group of technologies that are part of autonomous robotics, with emphasis on Artificial Intelligence and Connectivity. In order to identify what is being proposed about teaching robotics, an exploratory qualitative research was carried out in 50 courses or disciplines of robotics presented by higher education institutions, at undergraduate and graduate levels, held in Universities and Higher Education Institutions in Brazil and abroad. The approach, components and its topics were checked. In the sequence, those who have their approach more focused on autonomous robotics were identified. The result is a proposal of a set of disciplines that form the basic structure for a postgraduate course in this new robotics. The subjects to be developed in each discipline are presented in the final of this work. They do not exhaust the subject itself but provide the path of knowledge and skill needed by roboticists to work within the robotics' premises of the Fourth Industrial Revolution.

Keywords: Robotics, Autonomous Robotics, Industry 4.0, Fourth Industrial Revolution, Robotics Teaching.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - As quatro revoluções industriais e principais itens de caracterização.	19
Figura 2 – Esboço do dispositivo robótico de 1957 de Cyril Walter Kenward.....	30
Figura 3 - Quantidade de robôs industriais instalados por 10.000 trabalhadores da Indústria de Manufatura em 2016.....	32
Figura 4 - Tipos de robôs industriais	34
Figura 5 – Semelhança do robô articulado vertical com o braço humano.....	36
Figura 6 – Graus de Liberdade de Robô Scorbot ER-III do laboratório de Robótica da Fatec Sorocaba José Crespo Gonzales.....	37
Figura 7 – Robôs móveis industriais - AGV.....	41
Figura 8 – Os nove pilares da Indústria 4.0.....	44
Figura 9 - Principais competências do profissional para atuação com a Indústria 4.0 segundo a <i>Word Economic Forum</i> apud Schwab, (2016)	48
Figura 10 - Principais habilidades do profissional para atuação com a Indústria 4.0 segundo a <i>Word Economic Forum</i> apud Schwab, (2016)	49
Figura 11 – Exemplo de Robô Colaborativo em uso industrial - Cobot.....	57
Figura 12 – MIR <i>Mobile Industrial Robot</i> da <i>Universal Robotics</i>	58
Figura 13 - O COBOT MOXI atuando num ambiente hospitalar.	59
Figura 14 - Robô BigDog em simulação de operação de carregamento de carga em operação militar.....	60
Figura 15 - Robô Humanoide desenvolvido pela Boston Dynamics.....	61
Figura 16 - Handle – <i>Mobile Box Handling Robots for Logistics</i>	62
Figura 17 - Princípios que constituem as metodologias ativas de ensino	67
Figura 18 - Fluxograma do trabalho	79
Figura 19 - Tecnologias da 1a. e da 2a. Revolução Industrial	80
Figura 20 – Tecnologias que deram base para a criação da robótica industrial	81
Figura 21 - Esquema de controle de automação industrial	82
Figura 22 – Tópicos abordados em livros de Robótica apresentados na Terceira Revolução Industrial.....	83
Figura 23 – Tecnologias que implementam e dão suporte à robótica da Quarta Revolução Industrial.....	84
Figura 24 – Proposta desdobramento dos pilares da indústria 4.0, para atuação na robótica autônoma.....	85
Figura 25 – Proposta de divisão das partes que compõe um robô	86
Figura 26 – Universidades e Instituições de Ensino pesquisadas.....	87
Figura 27 – Modelo de ficha dos cursos pesquisados.....	88
Figura 28 - Exemplo do quadro dos cursos pesquisados e respectivas Universidades ou Instituições de Ensino Superior e endereço de página na internet.....	89
Figura 29 – Distribuição dos cursos pesquisados pelo nível de atuação.	90
Figura 30 – Distribuição dos cursos pesquisados por Universidades e de acordo com o nível dos estudantes alvo.	90
Figura 31 – Linha de Atuação dos cursos pesquisados	92
Figura 32 – Componentes e matérias dos cursos na 3ª Revolução Industrial	93
Figura 33 – Componentes e matérias dos cursos na 4ª Revolução Industrial	94
Figura 34 – Cursos da robótica Autônoma.....	95
Figura 35 – Resumo dos tópicos constantes da descrição dos cursos de robótica pesquisados e mais alinhados à robótica autônoma.....	96
Figura 36 – Disciplinas e matérias propostas para o curso de pós-graduação em robótica autônoma.....	98

Figura 37 - Foto da aula de desenvolvimento do projeto ensino com robótica na Associação Criança Feliz	115
Figura 38 - Modelo de um robô móvel tipo AGV desenvolvido com kit arduíno	115
Figura 39 - Robô educativo MOVEO BCN3D de 5 eixos	116
Figura 40 - Robô desenvolvido na Fatec Sorocaba com base no MOVEO BCN3D	118
Figura 41 - Foto do grupo de alunos trabalhando no AGV	119
Figura 42 - Foto do AGV montado no curso de Manufatura Avançada dentro do NEPTAR.....	120
Figura 43 - Banner do projeto do AGV apresentado no Workshop da Indústria 4.0 em Sorocaba.....	121

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

1ª RI	Primeira Revolução Industrial
2ª RI	Segunda Revolução Industrial
3D	Três Dimensões
3ª RI	Terceira Revolução Industrial
4ª RI	Quarta Revolução Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGV	<i>Automated Guided Vehicle</i>
CEO	<i>Chief Executive Officer</i> (Diretor executivo)
CLP	Controlador Lógico Programável
CN	Comando Numérico
CNC	Comando Numérico Computadorizado
COBOT	<i>Collaborative Robots</i> (Robô Colaborativo)
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
IA	Inteligência Artificial
IFR	<i>International Federation of Robotics</i> (Federação Internacional de Robótica)
IoT	Internet of Things (Internet das Coisas)
ISO	<i>International for Standardization Organization</i> (Organização Internacional de Normalização)
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MIR	<i>Mobile Industrial Robot</i> (Robô Móvel Industrial)
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
NEPTAR	Núcleo de Estudos e Pesquisas Tecnológicas em Automação e Robótica
RI	Revolução Industrial
RA	Realidade Aumentada
RIA	<i>Robotic Industries Association</i> (Associação das Indústrias de Robótica)
RM	Realidade Mista
RV	Realidade Virtual
SEAS	Secretaria especial de Assuntos estratégicos da Presidência da República
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	17
1.1.1	Objetivos gerais	17
1.1.2	Objetivos específicos	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	As revoluções industriais e o impacto na vida das pessoas	18
2.1.1	Primeira Revolução Industrial (1770 – 1870)	19
2.1.2	Segunda Revolução Industrial (1870-1950)	21
2.1.3	Terceira Revolução Industrial (1950 – 2010)	23
2.2	A robótica na Terceira Revolução Industrial	26
2.2.1	História e Desenvolvimento da Robótica	27
2.2.2	Robótica Industrial	29
2.2.3	Classificação dos robôs industriais	33
2.2.4	Ambientes de atuação de sistemas robóticos	37
2.2.5	Classificação dos robôs industriais quanto a geração tecnológica	39
2.2.6	Robôs Móveis e AGV - <i>Automated Guided Vehicle</i>	40
2.2.7	Tecnologias relacionadas com a evolução da indústria e da robótica industrial	41
2.3	Quarta Revolução Industrial e a Indústria 4.0 (2010 – atual)	42
2.3.1	Personalização: uma das chaves da Quarta Revolução Industrial	45
2.3.2	Conectividade: uma outra chave da Quarta Revolução Industrial	46
2.3.3	A Quarta Revolução Industrial e os empregos	46
2.3.4	As Tecnologias da Quarta Revolução Industrial	49
2.4	A robótica no ambiente industrial da Quarta Revolução Industrial	54
2.4.1	Robôs Colaborativos	54
2.4.2	Robôs Móveis Autônomos e Robôs Autônomos	57
2.5	Ensino de robótica na Terceira Revolução Industrial e os desafios para a Quarta Revolução Industrial	62
2.5.1	A didática através das Revoluções Industriais	63
2.5.2	A pedagogia tradicional	64
2.5.3	Construtivismo e Construcionismo	65
2.5.4	Metodologias Ativas	66
2.5.5	Ensino por Competências	67
2.5.6	Aplicação de atividades práticas no auxílio da capacitação	69
2.5.7	Aplicação da robótica como meio auxiliar de ensino	70
2.5.8	Consequências da Quarta Revolução Industrial no ensino	72
2.5.9	Preparação dessa nova mão de obra	73

3	MATERIAL E METODO	77
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	80
4.1	Tecnologias relacionadas as revoluções industriais	80
4.2	Tecnologias relacionadas à robótica Industrial.	82
4.2.1	Robótica na Terceira Revolução Industrial	82
4.2.2	Robótica na Quarta Revolução Industrial	83
4.2.3	Componentes Tecnológicos de um Robô.	85
4.3	Cursos de robótica pesquisados	86
4.4	Análise do nível de estudantes alvo dos cursos pesquisados.....	89
4.5	Análise da atuação dos cursos pesquisados.....	91
4.6	Componentes e matérias dos cursos	92
4.7	Disciplinas e matérias dos cursos identificados como da Robótica Autônoma.....	95
5	CONCLUSÃO.....	100
	REFERÊNCIAS.....	102
	APÊNDICE A – Projetos e Exemplos da Educação 4.0	111
	APÊNDICE B - Fichas descritivas dos cursos e disciplinas pesquisados	122
	APÊNDICE C – Projetos e Exemplos da Educação 4.0.....	148

1 INTRODUÇÃO

A Quarta Revolução Industrial (4ª RI) é uma realidade, iniciada em 2011, durante a feira de Hannover, Alemanha, foi inicialmente apresentada com o termo Indústria 4.0. Caracterizada por novos conceitos e tecnologias. São mudanças tão amplas que significam, não necessariamente uma revolução somente das fábricas, mas do sistema inteiro (SCHWAB, 2016).

Surgiu da integração entre entidades de ensino, governo e empresas industriais, formando a Tríplice Hélice e, numa continuidade das revoluções industriais anteriores, tende a mudar a maneira como é produzida a riqueza no mundo.

Essa revolução é definida por Moreira (2018) como:

- i. *Transfronteiriça*, tem uma correlação com as tecnologias de comunicação atuais, e é caracterizada pela conexão entre os sistemas;
- ii. *Disruptiva*, identificada pelo desenvolvimento de novos conceitos e novas formas de aplicação das tecnologias;
- iii. *Personalista*, tem destaque a personalização de produtos e serviços (MOREIRA, 2018).

No Brasil várias ações são realizadas para acompanhar esse momento, com destaque para o Fórum “Perspectivas de Especialistas Brasileiros sobre a Manufatura Avançada no Brasil” (2016); com debates sobre a Indústria 4.0 e a revista “Diálogos Estratégicos – O Brasil e os desafios da Quarta Revolução Industrial” (2018); com artigos, analisando a posição do Brasil perante esse novo cenário (MDIC e MCTIC, 2016; SEAS, 2018). O Ministério da Indústria, Comércio e Serviços, implantou em 2019 a Câmara Brasileira da Indústria 4.0, com representantes do governo, de empresas e da academia, demonstrando a preocupação do governo com esse tema.

Fazem parte dessa 4ª RI diversas tecnologias como, inteligência artificial, conectividade máquina a máquina, robôs e veículos autônomos, cidades inteligentes, pesquisas sobre o cérebro, biotecnologia, entre outras. Desenvolvidas num ritmo sem precedentes, provocam alterações profundas no modo de viver e trabalhar, impactam as instituições de ensino, o governo e, principalmente, as indústrias (LEURENT, 2016).

Entre todas, a robótica industrial e, em particular a autônoma, tem um papel de destaque nas pesquisas e forma um dos pilares da Indústria 4.0. Tendo início na 3ª RI, dispositivos robóticos, foram criados e utilizados nas linhas de produção. A

integração da inteligência artificial, e a conectividade com o meio, permitem sua aplicação em ambientes não estruturados, tomando decisões sem a necessidade de intervenção humana e, possibilitando a utilização numa fábrica, hospital ou mesmo numa exploração espacial (GROOVER, 1988; KAKU, 2018; LORENZ, RUBMANN, *et al.*, 2015).

Um novo profissional está surgindo, o roboticista, que é o responsável pelo desenvolvimento, pesquisa e aplicação da robótica. Com conhecimentos em diversas áreas como computação, mecânica, eletrônica analógica e digital, sistemas inteligentes, e inteligência artificial (PAZOS, 2002; CATHO, 2019).

Uma questão se coloca: como habilitar esse profissional do futuro, que vai atuar na Robótica Autônoma da Quarta Revolução Industrial?

Este trabalho apresenta o que está sendo ensinado na área de robótica, nas principais Universidades e Instituições de Ensino Superior em todo mundo, em uma análise em 50 cursos ou disciplinas, tendo como objetivo final a proposta de matérias que poderão compor um curso, em robótica autônoma. Para isso, foi realizado o seguinte roteiro:

1. Seleção das Universidades e Instituições a serem pesquisadas,
2. Definição dos 50 cursos ou disciplinas que tem a robótica como foco principal,
3. Análise da matéria contida a partir da descrição fornecida pela instituição,
4. Definição, a partir da análise de livros didáticos, dos tópicos abordados na robótica da 3ª RI,
5. Divisão do robô em partes e separação dos componentes da matéria dos cursos, objetivando auxiliar na sua classificação entre 3ª e 4ª RI, numa comparação com os tópicos dos livros,
6. Identificação de quais cursos têm seu conteúdo programático mais focados em tópicos e tecnologias da 4ª RI,
7. Proposição dos itens de matérias, que poderão fazer parte de um curso de robótica autônoma, no nível de pós-graduação.

Conforme cita Barros (2018), “a tecnologia é fruto do conhecimento humano acumulado ao longo dos tempos”. São as pesquisas acadêmicas e os centros de pesquisa e desenvolvimento das indústrias responsáveis pelo desenvolvimento de

boa parte desse conhecimento, e cabe às instituições de ensino acompanhar a evolução tecnológica que está ocorrendo e se prepararem para o ensino da Indústria 4.0. O fato é que profissões tradicionais estão perdendo espaço para aquelas voltadas à tecnologia e a maioria das profissões do futuro ainda não foram definidas nas empresas (SCHWAB, 2016; PERASSO, 2016)

Com o aprimoramento das tecnologias já conhecidas novas aplicações aparecem a cada dia. O robô já não é mais algo distante. Internet, veículos autônomos, manufatura aditiva, biotecnologia, fazem parte do cotidiano das pessoas, para citar apenas alguns exemplos (SCHWAB, 2016).

Por outro lado, os métodos de ensino tradicionais já não atendem mais aos anseios dos jovens estudantes, o papel do professor, de transmissor de conhecimento, tem migrado para o de colaborador, atuando com os estudantes na busca pelo conhecimento. O acesso à informação não está mais restrito ao educador, com a facilidade dos meios digitais, um estudante consegue verificar a informação que está recebendo, completando ou até mesmo contestando essa informação (PAPERT, 1980) .

O ensino com a aplicação de Metodologias Ativas se apresenta como uma das soluções possíveis, ou seja, a colocação do aluno como Centro do Ensino e da aprendizagem; o professor como Mediador, Facilitador e Ativador. O estímulo aos alunos pela autonomia, reflexão, problematização da realidade, o trabalho em equipe e a inovação (BERBEL, 2011).

Para se entender esse momento, é importante conhecer as tecnologias, nas diversas fases da evolução das três revoluções industriais anteriores, Também é importante e situar a influência desses fatos na atualidade, com uma análise em particular da robótica. Observa-se que, dentre todas as tecnologias apresentadas, esta tem um papel de destaque, com uma grande variedade de tipos de robôs industriais, móveis, máquinas e dispositivos robotizados; desenvolvidos a partir da Terceira Revolução Industrial e que são utilizados nos mais diversos setores da indústria (SCHWAB, 2016; SCHWAB, 2018).

1.1 Objetivos

Apresentação de uma estrutura básica para um curso de nível superior para formação do robótico da quarta revolução industrial, através da análise de cursos oferecidos em instituições de ensino superior no Brasil e em outros países.

1.1.1 Objetivos gerais

Estabelecer um conjunto de matérias e disciplinas que formem a estrutura básica de um curso em robótica autônoma, por meio da análise das competências e habilidades necessárias para os robóticos atuarem nas premissas da Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar a aplicação da robótica, em ambientes estruturados, durante a Terceira Revolução Industrial;
- Verificar a evolução da robótica para atuação em ambientes semiestruturados, ainda na Terceira Revolução Industrial;
- Verificar as principais tecnologias envolvidas na robótica autônoma definida na Indústria 4.0 ou Quarta Revolução Industrial;
- Conhecer como as principais instituições de ensino de engenharia estão atuando na geração do conhecimento necessário ao profissional robótico nesse cenário.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 As revoluções industriais e o impacto na vida das pessoas

Revolução está ligada a mudanças profundas ou radicais, e quando se trata de revolução industrial, são transformações sócioeconômicas, que se caracterizam pela introdução de inovações tecnológicas, as quais vêm alterar o modo de vida das pessoas, em geral possibilitando um aumento de produtividade, reduzindo os esforços físicos dos operadores e substituindo o trabalho manual por trabalho automático ou mecanizado (MICHAELIS, 2019).

A primeira alteração significativa no modo de vida da população ocorre quando surge a agricultura, há 10.000 anos, que leva a um crescimento demográfico e à ocupação de regiões do continente europeu, passando de uma situação de forrageamento, que consiste na busca por alimentos, para uma posição de prover o alimento a partir do trabalho com a terra e da domesticação dos animais. Estabelecem-se assentamentos humanos maiores e a urbanização e criação das cidades, caracterizando a denominada revolução agrícola, que precedeu as revoluções industriais (VALVA; DINIZ-FILHO, 2003).

Até o final do século XVIII é no campo que se vai encontrar a maioria da população europeia, com uma produção artesanal e baseada no sustento familiar. Com a descoberta da metalurgia o homem começa a trabalhar os metais, e inicia a idade do Bronze. Algumas manufaturas são observadas nesse período, porém compostas por artesões que realizam tarefas manualmente, subordinados ao proprietário da manufatura, não se observam processos industriais significativos (SÁ, 2001).

De acordo com Hobsbawm (2011), é a partir desse momento, que iniciam evoluções tecnológicas importantes. Para registrar esse fato, convencionou-se chamar esses determinados períodos evolutivos de “revolução industrial”, nos quais são percebidas invenções ou mudanças, que alteram de forma significativa, a vida das pessoas. Segue Hobsbawm (2011, p. 13) “A Revolução Industrial assinala a mais radical transformação humana já registrada em documentos escritos.”

A figura 1 apresenta, de forma resumida, algumas evoluções das revoluções industriais e os principais itens que as caracterizam (STEVAN JR., LEME e SANTOS, 2018).

Figura 1 - As quatro revoluções industriais e principais itens de caracterização.



Fonte: História as quatro revoluções industriais. Disponível em <<https://www.facebook.com/1708115422829518/photos/a.1875890436052015/1900015713639487/?type=1&theater>>. Acesso em 07 jan. 2020.

2.1.1 Primeira Revolução Industrial (1770 – 1870)

Segundo Hobsbawm (2011), a Primeira Revolução Industrial foi caracterizada pelo crescimento da Grã-Bretanha, tendo como alicerces a transformação econômica e social e a criação de novos processos de produção, resultando em melhoria da qualidade dos produtos, utilização de novas máquinas e criação de um sistema fabril de maior produtividade. A transformação ocorre nas cidades e no campo, com aumento populacional, melhoria das condições de vida da população, aumento da expectativa de vida e crescimento da renda média.

Ainda segundo Hobsbawm (2011), apesar dessa revolução ter se originado na Inglaterra do século XVIII, e ser considerada a primeira registrada pela história, ela não começa do zero. Outras fases de rápido desenvolvimento industrial e tecnológico anteriores podem ser apontadas, porém, nenhuma alcança, até então, a história de crescimento econômico autossustentado. Observa-se que a revolução britânica foi precedida por, pelo menos, 200 anos de desenvolvimento econômico razoavelmente contínuo. Sendo a Grã-Bretanha, nesse momento, parte de uma ampla rede de relacionamentos econômicos, constituída pelas colônias na América e pontos de comércio no Oriente e Europa, “[...] esse movimento não fica restrito a ela somente,

sendo difundido aos demais países e regiões com as quais mantém contato comercial.” (HOBSBAWM, 2011, p. 34).

Alguns outros fatos contribuíram para esse movimento, como exemplo, já possuía a Inglaterra, nesse momento, uma economia de mercado e, também era portadora de um grande e crescente setor manufatureiro. Essa revolução ficou marcada com o pioneirismo econômico, social e da industrialização, e se pode exemplificá-la pela análise da evolução da Indústria Têxtil, Máquina a Vapor e Telégrafo e das áreas de transporte, alimentação e bens de capital e, nesse último destacando-se o carvão (HOBSBAWM, 2011; STEVAN JR., LEME e SANTOS, 2018).

Essa revolução promoveu, num primeiro momento, a passagem da manufatura artesanal e doméstica para a indústria. Conforme coloca Hobsbawm (2011), apesar de necessitar de operários familiarizados com dispositivos mecânicos simples, as indústrias ainda não tinham como requisito que seus trabalhadores fossem detentores de qualificações científicas especializadas. A escolaridade, desejada nesse ambiente, era a obtida nas escolas existentes. Havia uma valorização da experiência prática dos operários, assim como a sua iniciativa (HOBSBAWM, 2011).

Também ocorre a substituição da energia humana e animal pela energia das máquinas, provocando um incremento da eficiência e produtividade. Existiu uma aceleração da descoberta de novas matérias primas e melhoria dos métodos de obtenção e elaboração desses materiais (HOBSBAWM, 2011).

Pode-se citar o conhecimento mecânico e a escolaridade básica como competências e a atuação individual e ação com metais, como as habilidades necessárias aos profissionais, nesse momento da evolução industrial. Observa-se que as necessidades, nesse início de desenvolvimento tecnológico, são básicas e obtidas facilmente no aprendizado tipo mestre e aprendiz e na escolaridade fundamental das escolas da época (HOBSBAWM, 2011).

2.1.1.1 Consequências da Primeira Revolução Industrial:

A 1ª. RI provocou uma significativa melhoria nos meios de transporte, levando à redução do custo de movimentação de carga, por rios e canais e por ferrovia. Nas indústrias, motivadas pela melhoria dos processos produtivos e pela mecanização se conseguiu um aumento da produção com redução no custo dos produtos. Isso levou a um aumento no consumo, principalmente de produtos alimentícios e têxteis, e,

consequentemente, levando ao incremento da manufatura de alimentos e produtos têxteis, fechando o círculo virtuoso da economia. Da mesma forma, a intensificação da indústria metalúrgica estimulou o crescimento do setor de bens de capital (HOBSBAWM, 2011).

2.1.1.2 Obstáculos:

Os obstáculos, no caminho da industrialização, como a alteração no modo de vida das pessoas e a necessidade de mão de obra mais especializada foram de fácil superação. Existiam, na Grã-Bretanha da época, um país rico e progressista, as condições sociais e econômicas fundamentais para o tipo de industrialização verificado, que se mostrava barato e simples (HOBSBAWM, 2011).

2.1.2 Segunda Revolução Industrial (1870-1950)

As transformações econômica e social iniciadas, na Primeira Revolução Industrial, continuam e aceleram a partir da segunda metade do século XIX, quando tem início a Segunda Revolução Industrial. Uma das diferenciações entre elas foi o papel da ciência e da pesquisa científica, que possibilitaram grandes desenvolvimentos aplicados às indústrias elétrica e química (DATHEIN, 2003). As evoluções tecnológicas, em diversas áreas das comunicações, o intenso uso do petróleo e principalmente da eletricidade como fonte de energia e a produção do aço contribuíram para o desenvolvimento industrial, não só no desenvolvimento de novos produtos, mas na forma de produzi-los (DATHEIN, 2003).

[...] a energia elétrica foi essencial na Segunda Revolução Industrial e, nesse sentido, destacamos a lâmpada elétrica incandescente de 1879 do inventor, cientista e empresário americano Thomas Edison, autor de uma afirmação muito reproduzida: “Minhas invenções são um por cento de inspiração e noventa e nove por cento de transpiração.” (MACHADO e GALVÃO JUNIOR, 2018, p. 1).

Várias teorias da administração de negócios e da produção surgiram, criando as bases dos conceitos, denominados “Taylorismo”, voltado ao controle do tempo como forma de gerenciamento da produção, “Fordismo” cujo foco é da produção em massa com introdução de alguma automação e o “Toyotismo”, caracterizado pela

técnica do *just-in-time*, associada à organização do trabalho e a produção enxuta (RIBEIRO, 2015).

Alguns dos principais desenvolvimentos tecnológicos que a caracterizam ocorreram na área da energia com a Eletricidade e o Petróleo; na pesquisa de novos materiais, como os Plásticos e o Aço; e na Química. Invenções como o Automóvel e o Avião trouxeram grandes avanços nos transportes. Na Administração das Indústrias e da Produção, evoluiu-se com as teorias de organização e administração científicas do trabalho com Taylor e Fayol, e com o aprimoramento dessas teorias com o “Toyotismo”. Responsável pela difusão das técnicas de produção em massa com possibilidades de personalização, que são amplamente utilizadas nas revoluções industriais seguintes (STEVAN JR., LEME e SANTOS, 2018).

Nessa Segunda Revolução Industrial, pode-se citar a administração da produção e das empresas, a cultura coletiva às engenharias como as novas competências necessárias aos profissionais para atuar nas indústrias. Quanto às habilidades, buscou-se uma atuação social no lugar da individual e uma prática mecânica como habilidades necessárias para atuação (MARINGONI, 2012).

2.1.2.1 Consequências da Segunda Revolução Industrial:

Conforme Stevan Jr. (2018), a 2ª. RI trouxe como consequência mais melhorias nos meios de transporte, popularizando o automóvel e o avião, reduziu mais ainda o custo de movimentação de carga, dessa vez, por estradas e pelo ar. Além disso, provocou um incremento no consumo de bens, pelo aumento de uma classe de consumidores inexistente até então, que são os próprios trabalhadores nas indústrias e os prestadores de serviços. A melhoria dos processos produtivos, provocada pela criação das linhas de produção em massa e pelo início da automação, tornou acessível ao grande público itens de consumo que antes eram exclusivos de uma classe privilegiada da população (STEVAN JR., LEME e SANTOS, 2018).

A indústria mecânica, principalmente a de máquinas e equipamentos, apresentou um grande desenvolvimento, estimulando mais ainda o crescimento do setor de bens de capital. Ela ocorreu na Europa e na América, no meio de duas grandes guerras e de várias revoluções e guerras civis que, se de um lado, canalizaram esforços para as batalhas, de outro lado, contribuíram para o

desenvolvimento de tecnologia bélica, como armas de guerra, veículos e aviões (SOUZA, 2019).

2.1.2.2 Obstáculos:

Com tecnologias sendo desenvolvidas e áreas distintas e diversificadas, tornou-se necessário, para atender a demanda das indústrias e serviços, a preparação de mão de obra especializada. Isso obrigou as instituições de ensino a se aperfeiçoarem e implementar as escolas técnicas e tecnológicas, principalmente nos países da Europa no pós-guerra (MARINGONI, 2012).

Encontram-se ainda países com enorme diferença de desenvolvimento. De um lado, a industrialização de países do eixo Europa - América do Norte, de outro lado, países ainda em situação de agricultura de sobrevivência e escravidão no eixo África – América do Sul. Dependendo da região que se analise, tem-se a situação das duas revoluções industriais ocorrendo ao mesmo tempo (MARINGONI, 2012).

2.1.3 Terceira Revolução Industrial (1950 – 2010)

Mesmo sem encerrar o ciclo da Segunda Revolução Industrial tem início “A Terceira Revolução Industrial, também chamada de Era da Eletrônica, quando as máquinas passaram a ser controladas com Controladores Lógicos Programáveis.” (STEVAN JR., LEME e SANTOS, 2018, p. 22). Difícil definir esse momento por um só produto ou invento, muitas foram as evoluções da tecnologia no século XX. Pode-se pensar no computador, nos controladores lógicos programáveis, nas viagens espaciais, no robô, na evolução do avião. Porém, o transistor e a eletrônica analógica e digital constituem importantes invenções e desenvolvimentos, as quais formam a base de todas as demais evoluções desse período (STEVAN JR., LEME e SANTOS, 2018).

Considerada como a revolução tecnológica ou digital, a integração, por meio das redes de comunicação industrial e dos sistemas de produção, apresenta um dos seus principais desenvolvimentos (STEVAN JR., LEME e SANTOS, 2018). Conforme Stevan Jr et al.(2016), são exatamente essas redes de alta velocidade, com seus diversos protocolos de comunicação, que possibilitaram a transmissão de um volume cada vez maior de dados e com maior velocidade. Vindo a formar a base de um dos

mais importantes pilares da Quarta Revolução Industrial, que é a integração entre todos os sistemas produtivos e de consumo, a qual será discutida adiante.

Parte das tecnologias desenvolvidas nessa revolução industrial têm influência no desenvolvimento dos robôs, e são utilizadas na criação da robótica autônoma. Como exemplo, pode-se citar algumas dessas tecnologias: Semicondutores têm papel importante na fabricação de componentes eletrônicos (OKA, 2000); Transistores substituíram as válvulas nos circuitos eletrônicos e possibilitaram a criação dos chips de memória (OKA, 2000); Sensores forneceram a interação necessária entre os controles dos dispositivos automáticos e o ambiente de trabalho (COSTA e OKAMOTO JR, 2002).

Computadores, criados a partir de desenvolvimentos realizados no final da segunda guerra mundial (FRAZÃO, 2019), se constituíram em uma das bases do desenvolvimento da Terceira Revolução Industrial, e da robótica em particular (STEVAN JR., LEME e SANTOS, 2018). Os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), substituíram os relês e contadores nas automações industriais e nos processos produtivos, agilizando a programação e reprogramação das máquinas e a criação de lógicas de programação mais complexas, com vários intertravamentos e abrindo caminho para a integração das máquinas e equipamentos automáticos (SILVEIRA e SANTOS, 2011).

O emprego do Comando Numérico Computadorizado (CNC) se tornou um dos pilares da criação de máquinas de manufatura automática e da robótica (MACHADO, 1989). O CNC aplicado a máquinas de alta complexidade é responsável pelo aumento de produtividade e melhoria de qualidade experimentado nas indústrias do final do século XX e no início do século XXI. Formam uma ponte entre a Terceira e a Quarta Revoluções Industriais, principalmente nos aspectos de integração entre máquinas M2M (*Machine-to-Machine*) e entre máquina homem HMI (*Human-Machine Interface*) - pilares da Indústria 4.0 -, e nos controles dos robôs antropomórficos aplicados na indústria a partir dos anos 1970 (STEVAN JR., LEME e SANTOS, 2018; SILVEIRA e SANTOS, 2011).

Os Motores Elétricos, Servo Motores e Motores de Passo, utilizados em sistemas automáticos, vêm formar, junto com a pneumática e hidráulica as bases da automação industrial (PAZOS, 2002).

2.1.3.1 Consequências da Terceira Revolução Industrial:

De acordo com Stevan Jr., Leme e Santos (2018), a 3ª RI gerou uma significativa melhoria nos meios de produção com a introdução de controles automáticos e máquinas CNC. Alterou as relações sociais da população, com o incremento da migração do campo para as cidades, o que já ocorria desde a revolução industrial anterior, porém agora em maior escala, em busca de uma melhor qualidade de vida. As cidades ficaram mais próximas e acessíveis, e os meios de comunicação permitiram uma globalização da informação, com conexão direta e imediata em qualquer parte do mundo.

Ocorre, então, um rompimento das barreiras físicas de idiomas, culturas e história, a telefonia móvel e a internet fazendo a integração do mundo, encurtando ainda mais as distâncias e permitindo uma comunicação instantânea a um custo muito menor (STEVAN JR., LEME e SANTOS, 2018).

Também o comportamento do homem em relação ao meio ambiente é modificado, passando de uma abordagem destrutiva de ocupação desenfreada para um momento de conservação e controle dos espaços, com monitoramento constante de florestas e cidades (STEVAN JR., LEME e SANTOS, 2018).

Nesse cenário, a tecnologia sai das Universidades e alcança as indústrias, o comércio, os serviços e, por último, os lares. Os computadores deixam de ser de uso exclusivo de grandes corporações e passam a ocupar um lugar de destaque na vida das pessoas. A genética modifica o mundo, novos medicamentos combatem doenças até então terminais e o homem passa a viver mais e com uma melhor qualidade de vida. Ela atinge todo o mundo com maior ou menor intensidade e a evolução tecnológica da sociedade se dá de maneira exponencial (STEVAN JR., LEME e SANTOS, 2018).

2.1.3.2 Obstáculos:

Uma das consequências da robotização e automação das indústrias pode ser sentido no mundo do trabalho,

“[...] efeitos sobre o nível e a composição dos empregos, sobre as qualificações requeridas ao trabalhador, o valor dos salários e sua relação com a massa de lucro apropriada pelas empresas, as condições de trabalho,

a gestão e controle da mão-de-obra e as relações sindicais.” (SILVA D, SILVA R e GOMES, 2002, p. 5).

“[...] Outras revoluções já chacoalharam o mundo do trabalho em nossa História. Esta última produz o desemprego estrutural, resultante da desregulação da concorrência e dos mercados, da ausência de políticas macroeconômicas apropriadas, dos efeitos da globalização financeira sobre o investimento e o crescimento econômico.” (MATTOSO, 1995 apud SILVA D., SILVA R e GOMES, 2002).

Outra consequência, está na evolução da idade produtiva e de vida dos cidadãos, provocando a redução dos empregos devido a postergação da aposentadoria e aumento da vida laboral desse trabalhador. Portanto, além da substituição dos operadores por robôs ou máquinas automáticas, tem-se uma consequente redução na disponibilidade de empregos, provocando um desemprego estrutural nos extremos da classe produtiva, ou seja, entre os mais jovens, com dificuldade de se introduzir no mercado de trabalho e os mais idosos, que postergam sua aposentadoria (SILVA D, SILVA R e GOMES, 2002).

Também é sentida a dificuldade na preparação dessa nova mão de obra, uma vez que as profissões existentes em seu início são gradativamente substituídas por novas profissões até então inexistentes, tais como programadores de computador, engenheiros mecatrônicos e operadores de robôs. Isso leva à obrigatoriedade de uma revisão dos cursos e disciplinas das universidades, o que nem sempre é acompanhado com a velocidade necessária, provocando uma defasagem entre o que o mercado precisa e o que as instituições oferecem no preparo da mão de obra (MARINGONI, 2012).

2.2 A robótica na Terceira Revolução Industrial

A aplicação de robôs, nos processos produtivos, substituiu parte da mão de obra industrial, inicialmente na redução de atividades insalubres e perigosas e, na sequência, atuando em atividades de maior qualidade e produtividade. Antes de uso exclusivo nas indústrias, chegam aos lares, na forma de máquinas que limpam, cozinham, controlam e tornam a vida das pessoas mais confortável. Pode-se considerar os robôs como o exemplo mais visível e popular dessa Revolução Industrial; a partir do século XX, todo mecanismo com certo grau de automação recebe o nome, muitas vezes de forma inapropriada, de robô ou com tecnologia robótica (STEVAN JR., LEME e SANTOS, 2018).

2.2.1 História e Desenvolvimento da Robótica

Desde os tempos mais remotos, o homem sempre foi fascinado pela ideia de ter uma máquina que o substituísse nas tarefas do cotidiano. Uma das primeiras referências desse conceito foi feita por Aristóteles no século IV a.C. “[...] se os instrumentos pudessem realizar suas próprias tarefas, obedecendo ou antecipando o desejo das pessoas [...]”. (ROMANO e DUTRA, 2002, p. 1)

Durante séculos, as mais diversas invenções, surgiram com o intuito de facilitar a vida das pessoas, sempre utilizando a tecnologia; máquina a vapor, telégrafo, computador, entre outras invenções que fazem parte do nosso cotidiano. A aplicação desses inventos, de forma sistemática na indústria e na vida pessoas, resulta na sociedade industrial. Dentre todos, um em particular tem papel de protagonista quando se fala em evolução tecnológica. É o denominado *robô* (ROMANO e DUTRA, 2002).

A origem dos termos da robótica se deu nas novelas de ficção científica e não nos laboratórios das universidades Os robôs sempre estiveram presentes na ficção científica e, somente mais recentemente é que se observam aplicações práticas em atividades industriais, de pesquisa aeroespacial, na medicina, nas atividades domésticas, enfim, em todas as atividades onde se faz necessária a precisão, a repetibilidade e a confiabilidade (GROOVER, *et al.*, 1988).

O nome robô tem origem na ficção. Foi criado por Karel Capek, em uma peça teatral encenada pela em New York, em 9 de outubro de 1922, denominada *Rossum's Universal Robots* (R. U. R.). Robô deriva da palavra tcheca *robota* ou *robotnik* que significa trabalho forçado (ASFAHL, 1992; USATEGUI e GONZALES, 1985). Uma definição, obtida em dicionários, apresenta o robô como sendo um aparelho capaz de agir de maneira automática numa dada função ou um autômato com figura humana (AURÉLIO, 2019).

Por outro lado, o conceito de máquinas realizando o serviço de humanos é muito mais antigo. Existem relatos de Autômatos desenvolvidos na antiguidade, com registro de mais de 500 a.C., como um pássaro mecânico feito por Arquimedes de Tarento no ano de 400 a.C. (TADDEI e LISA, 2009). No século I d.C., Heron, idealizou a primeira máquina a vapor e influenciou os estudos posteriores de Leonardo Da Vinci. No século XIII, Alberto Magno cunhou o termo Androide e criou um ajudante automático (TADDEI e LISA, 2009).

É interessante observar os diferentes nomes dados aos robôs ao longo da história, como Autômato e Androide, até chegar na denominação atual. Leonardo Da Vinci deixou um vasto material com estudos de mecanismos mecânicos, inclusive com desenhos que sugerem o projeto de um soldado robô, com movimentos feitos por engrenagens e polias (TADDEI e LISA, 2009).

Inicialmente os robôs na ficção, apresentaram certa semelhança com o ser humano, tanto em sua forma, quanto em sua ação, pensavam e agiam como os humanos, com sentimentos e viraram estrelas do cinema e da televisão. Esse conceito, amplamente utilizado na ficção científica, gerou personagens mitológicos e inesquecíveis. Com a ficção científica, na era moderna, Isaac Asimov, renomado escritor, contribuiu com inúmeras histórias sobre robôs, e detêm o crédito de utilizar o termo Robótica pela primeira vez em 1942, na estória *Runaround* (GROOVER, *et al.*, 1988).

Também é de Asimov (1950) a criação das três leis da robótica, numa clara alusão à necessidade de se manter o controle sobre essas máquinas:

1a. lei - Um robô não pode ferir um ser humano ou, por inação, permitir que um humano seja ferido;

2a. lei - Um robô deve obedecer às ordens dadas por humanos, exceto quando isso conflitar com a 1a. lei;

3a. lei - Um robô deve proteger sua própria existência, a menos que isso conflite com a 1a. ou 2a. leis (ASIMOV, 1950).

O objetivo das leis, segundo o próprio Asimov, é tornar possível a coexistência de robôs inteligentes com os humanos. Observa-se que, as Leis da Robótica citadas não são de fato leis, mas sim diretivas oriundas de contos de ficção científica (GROOVER, *et al.*, 1988; SCHIAVICCO, SICILIANO, 1995 apud ROMANO 2002).

Um fato interessante é que os robôs da ficção científica, na grande maioria dos contos e histórias, se voltam contra os humanos. Tal fato pode ser observado na novela escrita por Mary Shelley em 1818, cuja história trata da criação de um humanoide pelo Dr. Frankenstein, onde a criação vira um monstro e aterroriza a comunidade local, assim como na peça de Capek tem-se a revolta da criatura contra seu criador (SHELLEY, 1818).

2.2.2 Robótica Industrial

Primeiros com aplicação prática, os robôs industriais diferem dos modelos apresentados na ficção científica. São muito mais parecidos com braços robóticos para aplicações específicas de produção, tais como solda, pintura, montagem, operações onde existam trabalho de fadiga de operador, trabalho insalubre ou necessidade de uma qualidade não adequada a uma operação manual (ROMANO e DUTRA, 2002).

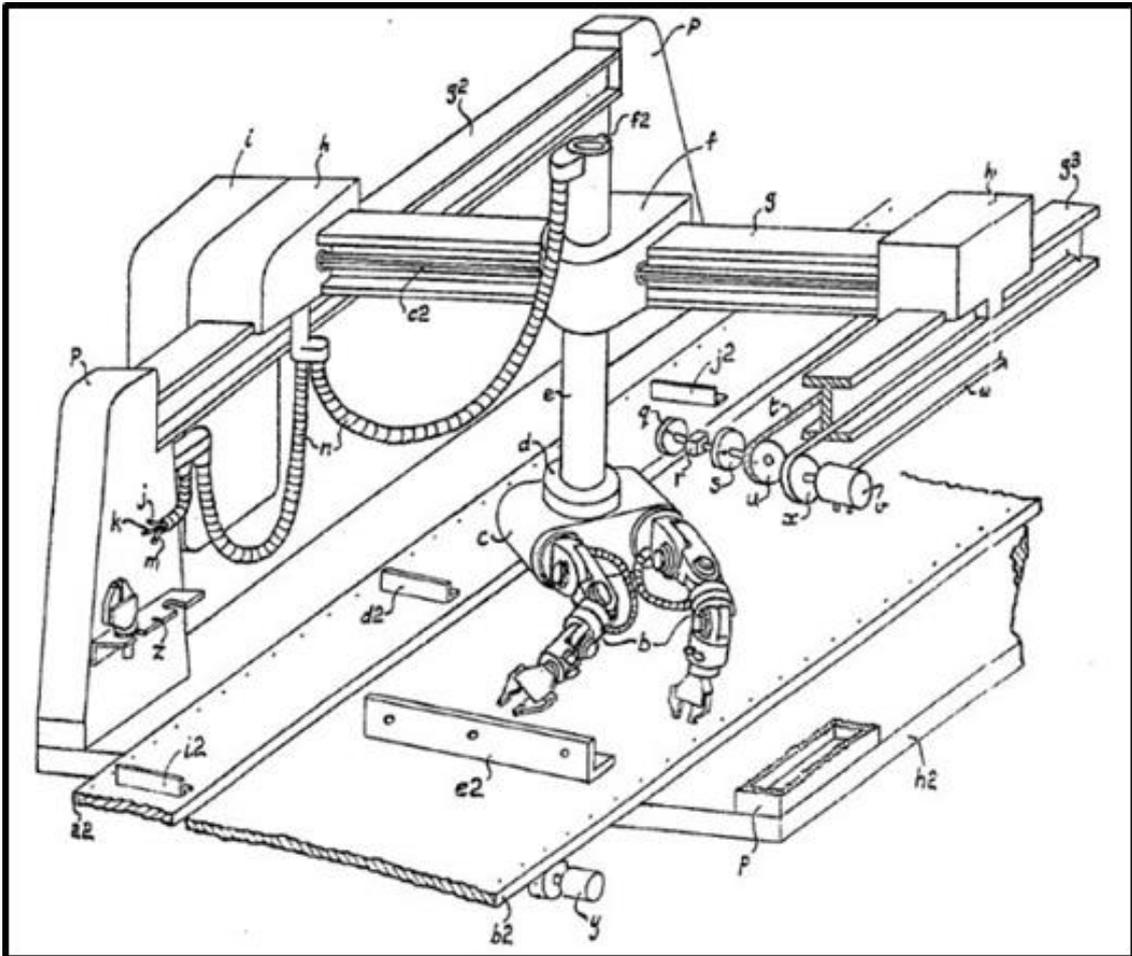
A Associação das Indústrias de Robótica (RIA¹, do inglês *Robotics Industries Association*) define um Robô Industrial como um “manipulador multifuncional reprogramável, projetado para movimentar materiais, partes, ferramentas ou peças especiais, através de diversos movimentos programados, para o desempenho de uma variedade de tarefas” (RIVIN, 1988, apud ROMANO e DUTRA, 2002, p. 3).

O início da aplicação deles se deu em meados do século XX. O campo da robótica industrial pode ser considerado como uma combinação da tecnologia de máquinas operatrizes e ciência da computação, aglutinando campos aparentemente tão diversos quanto projeto de máquinas, teoria de controle, microeletrônica, programação de computadores, inteligência artificial, fatores humanos e sociais e teoria de produção. Automação e Robótica são duas tecnologias intimamente relacionadas (GROOVER et al., 1988).

A base inicial é uma combinação de telecomando com comando numérico. Esse robô é um manipulador mecânico cujos movimentos são controlados por técnicas de programação similares às usadas em comandos numéricos (MACHADO, 1989; GROOVER et al., 1988). Em 1954, o inglês Cyril Walter Kenward conciliou essas duas técnicas num dispositivo de robótica, apresentado na figura 2, que foi o primeiro robô industrial patenteado (GROOVER, *et al.*, 1988).

¹ RIA – Robô Industrial - um manipulador multifuncional reprogramável controlado automaticamente, programável em três ou mais eixos, que pode ser fixo ou móvel para uso em aplicações de automação industrial, Fonte: ANSI / RIA R15.06-1999 National Robot Safety Standard Publicado por Robotic Industries Association, UPDATED 01/19/2010. Disponível em <<https://www.robotics.org/product-catalog-detail.cfm/productid/2953>>, Acesso em 07.jan.2019.

Figura 2 – Esboço do dispositivo robótico de 1957 de Cyril Walter Kenward.



Esboço do dispositivo robótico para o qual Cyril Walter Kenward recebeu uma patente britânica expedida em 1957

Fonte – *Positioning or Manipulating Apparatus*. Disponível em: <<http://cyberneticzoo.com/early-industrial-robots/1954-march-positioning-or-manipulating-apparatus-patent-by-cyril-kenward-british/>>. Acesso em 09 jan. 2020

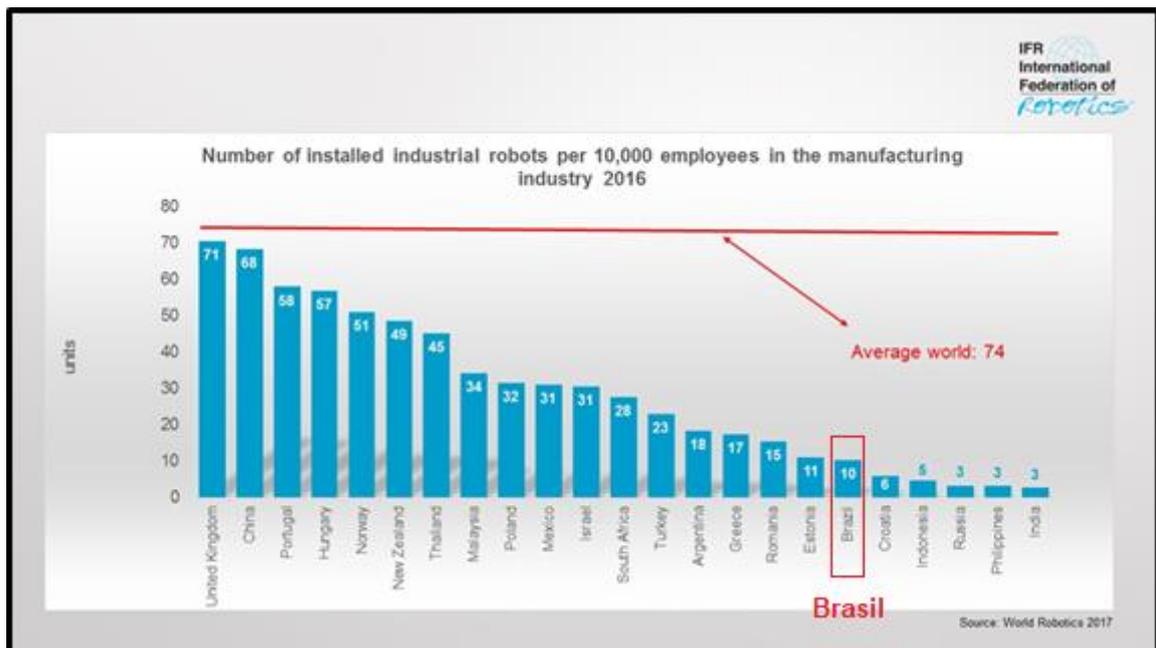
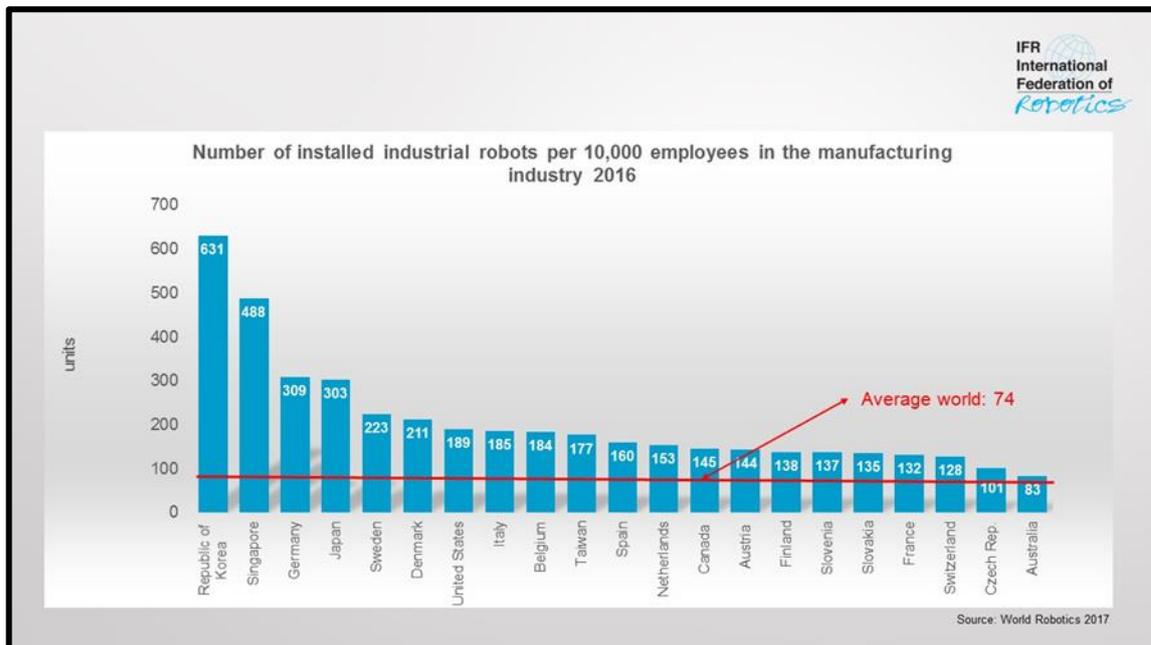
Em 1961, o americano George C. Devol, desenvolveu um dispositivo de Transferência Programada de Artigos e juntamente com Joseph Engelberger, fundaram a empresa Condec para desenvolver e comercializar esse invento. Juntos criaram o UNIMATE², primeiro Robô Industrial e, em 1962, criaram a empresa *Unimation* que desenvolveu a aplicação da robótica na indústria (GROOVER et al., 1988).

² Revolucionando a fabricação em todo o mundo: O Unimate foi o primeiro robô industrial, concebido a partir de um projeto para um braço mecânico patentado em 1954 pelo inventor americano George Devol. O Unimate foi desenvolvido como resultado da perspicácia prospectiva e de negócios de Joseph Engelberger - o pai da robótica. Fonte UNIMATE // The First Industrial Robot, Disponível em <<https://www.robotics.org/joseph-engelberger/unimate.cfm>>. Acesso em 07.jan.2019.

Na década de 1970, o primeiro robô Unimate começou a operar na *Ford Motor Company* para descarregamento de uma máquina de fundição sob pressão, nessa fase ainda com o nome de Dispositivo de Transferência Universal – (UTD, do inglês *Universal Transfer Device*). Por volta de 1978, foi criado o robô PUMA, uma Máquina Programável Universal de Montagem – (PUMA, do inglês *Programmable Universal Machine for Assembly*) (GROOVER et al., 1988).

Atualmente existem mais de 1,8 milhões de robôs industriais instalados no mundo (VALENTE, 2018). Nessa análise, verifica-se que, em 2016, com 87.000 unidades, a China possuía nominalmente a maior população de robôs industriais no mundo. O Japão aparece em terceiro lugar com 38.586 unidades em número absoluto e em 4º lugar na análise comparativa por 10.000 trabalhadores. Muito atrás se encontrava o Brasil com apenas 1.207 instalados e na 39ª colocação por 10.000 trabalhadores, abaixo também da média mundial que era de 74 unidades por 10.000 trabalhadores. Essas informações podem ser vistas nos gráficos da figura 3. A densidade de robôs instalados é uma forma excelente de se comparar o nível de automação dos diversos países, conforme apresenta Junji Tsuda, presidente da IFR - *International Federation of Robotics* (IFR, 2018).

Figura 3 - Quantidade de robôs industriais instalados por 10.000 trabalhadores da Indústria de Manufatura em 2016



Fonte: Robots density rises globally (IFR, International Federation of Robotics, 2018)

Busca-se, com a aplicação dos robôs em processos industriais, um aumento da produtividade, melhoria da qualidade dos produtos gerados e redução de custos de produção (ROMANO e DUTRA, 2002). Para tanto, é necessário que eles façam parte de um sistema mais abrangente de automação industrial, ou seja, o robô sozinho não é a solução na maioria dos casos, sendo necessária sua integração com outros dispositivos de automação, como centros de usinagem, linhas de transferência,

esteiras etc. Conforme apresentam Pereira e Lages (2002), diferentes interfaces de comunicação são apresentadas nos robôs industriais, como:

- i. “Interface homem-máquina, para permitir a programação e configuração dos robôs industriais pelos operadores, bem como para apresentar informações sobre o estado atual do robô;
- ii. Interfaces com sensores e atuadores, para permitir aos robôs perceber e atuar sob o processo industrial automatizado.
- iii. Interfaces com controladores industriais, tais como controladores lógico programáveis (CLP), possibilitando a interação de robôs com outros dispositivos de controle;
- iv. Interfaces com redes de comunicação industrial, permitindo que robôs possam ser interligados em rede protocolos industriais de comunicação.” (PEREIRA e LAGES, 2002, p. 47)

2.2.3 Classificação dos robôs industriais.

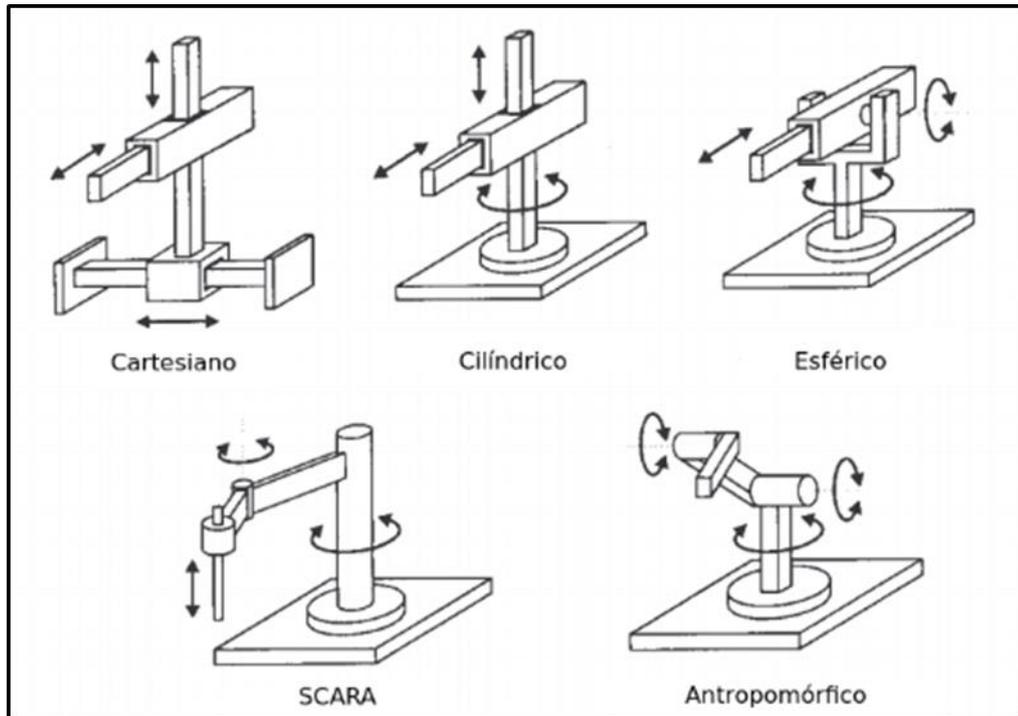
As primeiras aplicações nas indústrias formaram uma família de manipuladores, sendo possível identificar seu tipo, analisando a forma de construção de elementos estruturais. Em seu aspecto mecânico, ele é composto de elos ou *links*, conectados através de juntas ou *joints* (ARENAS, 2016).

O movimento relativo entre dois elos através do acionamento das juntas é chamado de grau de liberdade e o conjunto de movimentos possíveis das juntas formam o Volume de Trabalho, também chamado de Envelope de Trabalho ou *Work Envelope*. É o volume gerado pelo somatório dos posicionamentos possíveis do efetuator, de acordo com a configuração do robô (ROMANO e DUTRA, 2002).

As juntas são acionadas por atuadores, que são os elementos que convertem a energia elétrica, hidráulica, pneumática ou outra forma de energia, em potência mecânica, sendo então enviada aos elos pelos sistemas de transmissão, para que se movimentem. Os atuadores podem ser motores elétricos, motores de passo, servo motores, atuadores pneumáticos, hidráulicos etc. (ROMANO e DUTRA, 2002).

As juntas do robô podem ser prismáticas ou deslizantes (P), com um movimento linear entre dois elos e rotativas ou de revolução (R), que permite ter um movimento de rotação entre dois elos. Na figura 4, pode-se observar os diversos tipos de montagens usuais na robótica industrial, combinando juntas prismáticas (P) e juntas de revolução (R). É possível a adequação de robô conforme a aplicação (BARRIENTOS, 2007 apud ARENAS, 2016; SCHIAVICCO e SICILIANO, 1995 apud ROMANO e DUTRA, 2002).

Figura 4 - Tipos de robôs industriais



Fonte- (BARRIENTOS, 2007), Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-211-Tipos-de-robos-industriais-Fonte-BARRIENTOS-2007_fig7_313899979>. Acesso em 07 jan. 2019

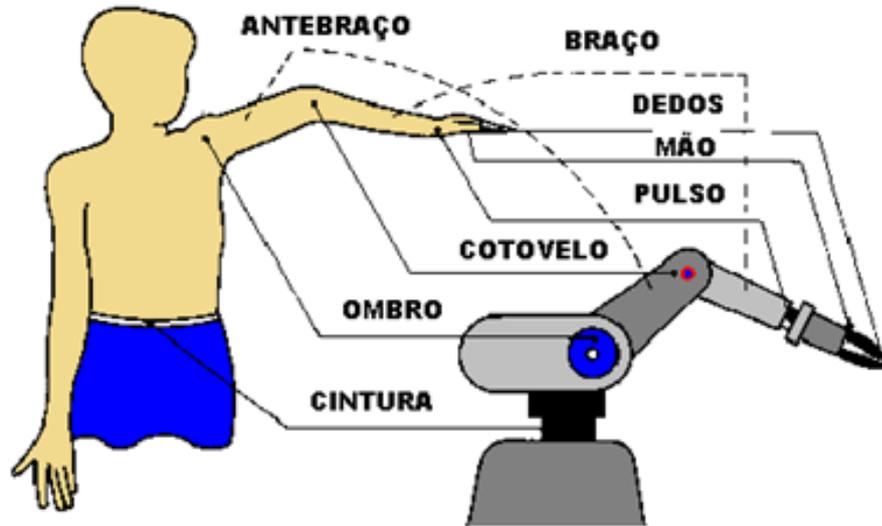
Os robôs industriais podem ser classificados, segundo a sua geometria, em:

- i) Robô de coordenadas cartesianas, ou tipo pórico (PPP). Este tipo de robô possui três juntas prismáticas (P), resultando num movimento composto de três translações, cujos eixos de movimento são coincidentes com um sistema de coordenadas de referência cartesiano. Uma variante deste robô é a configuração tipo pórico. Apresentam alto grau de rigidez mecânica com grande precisão de posicionamento do atuador, têm controle mais simples devido ao movimento linear dos elos. São utilizados em sistemas de armazenamento e movimentação de carga (SHOHAM, 1982);
- ii) Robôs de Coordenadas Cilíndricas (PPR), formado por duas juntas prismáticas (P) e uma junta rotativa (R), com um movimento composto de dois movimentos rotativos e uma translação, que resulta num Volume de Trabalho cilíndrico (SHOHAM, 1982);
- iii) Robô de coordenadas esféricas (PRR), é o que possui dois movimentos rotacionais (R), de tal forma que realiza um movimento esférico e um terceiro movimento linear, proporcionado por uma junta prismática.

Ambas promovem um volume de trabalho na forma de uma semiesfera. Pode ter as configurações RRP (rotacional, rotacional e prismático) e RPR (rotacional, prismático e rotacional). Como tem um volume de trabalho maior do que os apresentados pelos robôs cilíndricos, são muito utilizadas na movimentação e alimentação de peças em processos produtivos (SHOHAM, 1982);

- iv) Robô articulado horizontal (SCARA) (PRR). Este tipo de robô tem duas juntas rotativas (R) dispostas em paralelo, promovendo um movimento num plano e uma junta prismática (P) perpendicular a esse plano, resultando num Volume de Trabalho cilíndrico. Também conhecido por SCARA - Braço Robótico para montagem de conformidade seletiva (SCARA, do inglês, *Selective Compliance Assembly Robot Arm*). Devido sua construção permite movimentos precisos e rápidos, sendo bastante utilizados em montagens de componentes mecânicos e eletrônicos de pequeno porte (ABB, 2019);
- v) Robô articulado vertical ou antropomórfico RRR, trata-se de uma configuração com três juntas rotacionais, com um volume de trabalho semelhante ao modelo esférico, porém com geometria mais complexa e maior amplitude. Sua rigidez mecânica é menor que a apresentada pelos modelos apresentados anteriormente (SHOHAM, 1982). A estrutura desse modelo tem semelhança muito grande com um braço humano, daí seu nome de robô antropomórfico, conforme apresentado na figura 5. Tal modelo de robô muito utilizado industrialmente em linhas de montagem de veículos, solda, movimentação e pintura (SHOHAM, 1982).

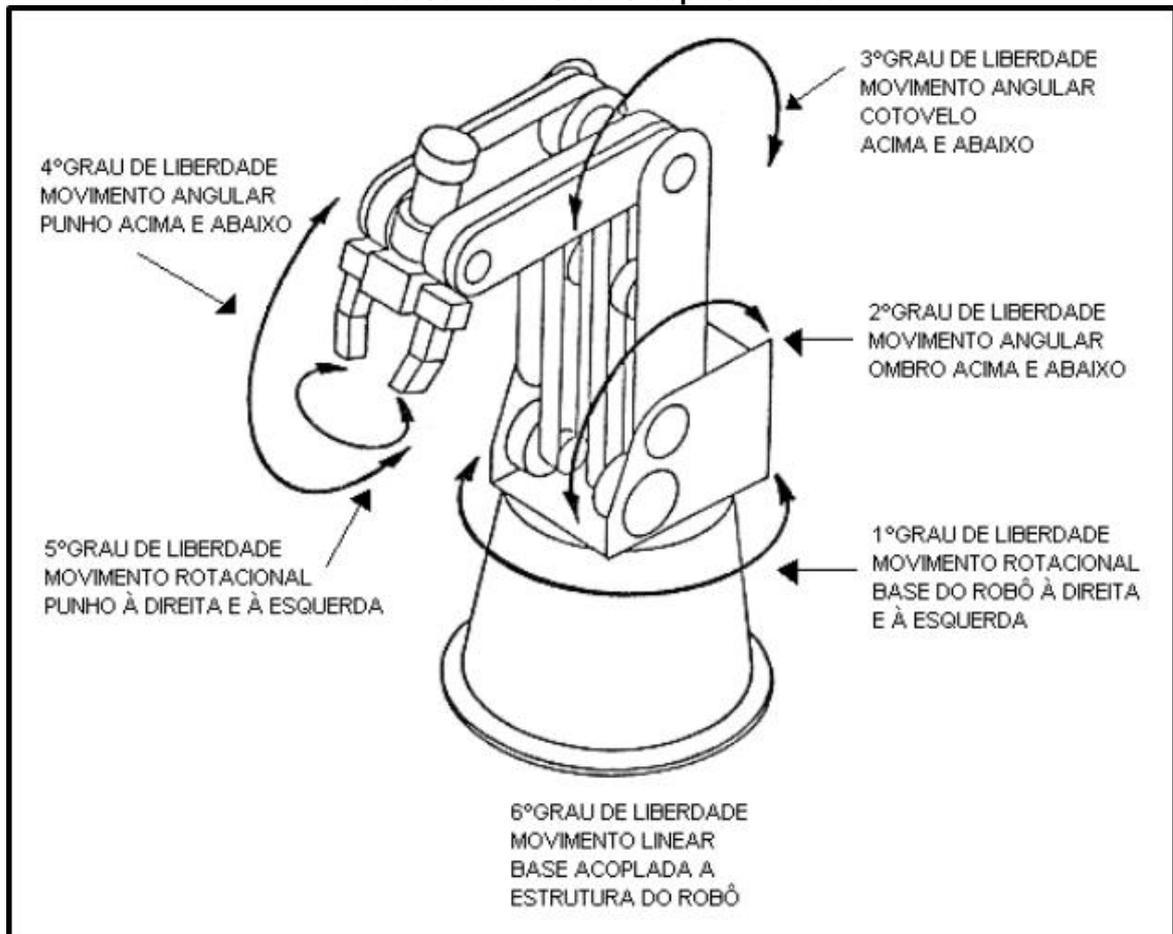
Figura 5 – Semelhança do robô articulado vertical com o braço humano.



Fonte – Adaptado de <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAABYwoAD/apostila-robotica?part=2>>. Acesso em 10 jan. 2019

Um robô industrial possui de 3 a 6 graus de liberdade e a complexidade de controle de seus movimentos aumenta com o número de graus de liberdade. Na figura 6, pode-se observar um robô antropomórfico industrial com 6 graus de liberdade, sendo 5 no robô e mais um grau de liberdade no movimento linear da base sobre uma guia prismática, aumentando, com isso, a capacidade de movimentação (SHOHAM, 1982).

Figura 6 – Graus de Liberdade de Robô Scorbob ER-III do laboratório de Robótica da Fatec Sorocaba José Crespo Gonzales



Fonte – Adaptado de SHOHAM. (1982)

2.2.4 Ambientes de atuação de sistemas robóticos

No início do desenvolvimento da robótica industrial, considerou-se sua atuação em ambientes estruturados, como nos robôs de solda, muito comuns nas linhas de produção automobilística. Já os móveis, também denominados AGVs – Veículos Guiados Automaticamente (do inglês Automated Guided Vehicle), foram desenvolvidos para transporte entre as diversas estações de trabalho numa planta industrial, o que faz com que tenham que atuar num ambiente menos estruturado, sujeito a mudanças bruscas, como um pedestre ou uma empilhadeira em seu caminho. Assim é necessário definir o local em que o robô irá atuar (SIEGWART e NOURBAKHS, 2004; ROMANO, 2002).

Uma das formas de classificar um robô, segundo Romano (2002), pode ser pelo tipo de ambiente em que ele irá atuar, sendo possível, a partir desse fator, identificar o grau de complexidade necessário no seu controle. Para uma análise dos tipos de

robôs, controles e envolvimento de operadores nas diversas situações, e principalmente para analisarmos as diferenças entre a robótica das revoluções industriais, faz-se necessário definir onde eles atuarão. Ainda segundo Romano (2002),

“O grau de envolvimento do operador humano no processo de controle de um sistema robótico é determinado pela complexidade que o meio de interação apresenta e pelos recursos disponíveis para o processamento dos dados necessários à execução das tarefas.”

Dessa forma, para uma análise mais completa da robótica, definem-se dois ambientes de atuação dos robôs, em função de sua estruturação, “sistemas robóticos atuando em ambientes estruturados ou em ambientes não estruturados”. (ROMANO, 2002, p.10)

Com isso, pode-se identificar os seguintes ambientes:

i) *Ambientes estruturados*: são aqueles onde os parâmetros de operação dos robôs podem ser identificados e quantificados. Dessa forma é possível estabelecer programas de controle que façam com que eles atuem de forma autônoma, com participação mínima dos programadores e operadores, porém sempre seguindo o programa previamente estabelecido. Como exemplo pode-se citar os instalados em células de manufatura dentro das indústrias a partir da Terceira Revolução Industrial (ROMANO e DUTRA, 2002). São programados para executar atividades repetitivas e controladas, isolados em gaiolas de segurança que restringem o acesso do homem, e atuam principalmente em fábricas de manufatura, tendo como objetivo automatizar o trabalho (REYES e DURO, 2005).

ii) *Ambientes não estruturados*: são aqueles em que os robôs atuam sem conhecimento prévio total dos parâmetros da operação. Nesse caso, seus controles devem prever a análise do ambiente e a tomada de decisão de sua ação para execução das tarefas. Como exemplo pode-se citar os exploradores do espaço. Os que atuam nesse ambiente não estruturado apresentam características próximas a robótica autônoma, que é um dos pilares da Quarta Revolução Industrial. O desenvolvimento de alguns modelos iniciou-se ainda no século XX antes, portanto, de ter-se definido essa revolução ou mesmo os conceitos da Indústria 4.0 (ROMANO, 2002).

Para uma melhor classificação, é necessário definir-se um terceiro ambiente, denominado neste trabalho de *semiestruturado*, e especificado a seguir:

iii) *Ambientes semiestruturados*: apesar de não haver citação desse tipo de ambiente na literatura pesquisada, acha-se conveniente introduzir esse termo para diferenciar a ação dos robôs móveis em atuação nas fábricas dos que estão sendo desenvolvidos dentro da Quarta Revolução Industrial. Numa transição entre os industriais que atuam em células de manufatura (típicos da 3ª RI) e os totalmente autônomos estes, por definição, têm autonomia para executar seus movimentos, independentemente de uma programação prévia, com capacidade de interagir com o meio e tomar as decisões necessárias para executar suas tarefas da melhor forma possível. Reyes e Duro (2005) porém definem uma autonomia reduzida, para robôs que tem algum comando realizado por humanos, como em alguns modelos espaciais e nos drones (REYES e DURO, 2005).

2.2.5 Classificação dos robôs industriais quanto a geração tecnológica

Outra classificação possível conforme descrito por RIVIN e ROSEN (1988, 1985, apud ROMANO e DUTRA, 2002), refere-se às suas gerações tecnológicas.

- 1) Primeira geração - Robôs de sequência fixa. Tem os movimentos programados para uma determinada sequência continuamente repetida. Nessa configuração a mudança de percurso implica na necessidade de efetuar-se modificações físicas, ou seja, mudança de hardware. O ambiente de atuação do robô deve estar estruturado, com o posicionamento preciso dos materiais a serem manuseados. São chamados também de dispositivos automáticos tipo *pick and place*³.
- 2) Segunda geração – Robôs Sensorizados. Com a introdução de sensores e maiores recursos computacionais, são capazes de atuar em ambientes parcialmente estruturados, decidindo em tempo real os parâmetros de controle para a realização dos movimentos. São características desta geração a capacidade de algumas ações, como diferenciar uma peça de outra, por meio das características físicas, dimensões, peso ou material das mesmas (PAZOS, 2002).
- 3) Terceira geração – Conexão entre robôs e máquinas. Essa geração tem potencial para se conectar com outros equipamentos robóticos e com máquinas, entender alterações do ambiente e adequar sua programação. O robô pode se comunicar com outros sistemas computacionais numa grande rede de comunicação por meio

³ Pick and Place – em tradução livre pega e põe, é como se denominam alguns manipuladores em automação industrial

de diferentes protocolos de comunicação. É capaz, por exemplo, de tomar decisões em operações de montagem, rejeitar peças defeituosas ou selecionar uma combinação correta de tolerâncias (CARRARA, 2015). Essa geração está sendo incorporada nas indústrias que estão aplicando os conceitos da Indústria 4.0.

- 4) Quarta geração – Robôs Colaborativos e Autônomos. A robótica colaborativa permite que humanos e robôs compartilhem um único espaço de trabalho, um complementando as aptidões do outro. Já os autônomos podem atuar em ambientes não estruturados, com o uso de sistemas tipo visão de máquina, digitalização de imagem e Inteligência Artificial. Ambos são previstos por Schwab (2016; 2018) na Quarta Revolução Industrial.

2.2.6 Robôs Móveis e AGV - *Automated Guided Vehicle*

Um modelo de robô industrial desenvolvido para aplicação nas plantas fabris são os robôs móveis denominados *Automated Guided Vehicle (AGV)*. Utilizados, no transporte de insumos entre as diversas estações de trabalho (SIEGWART e NOURBAKHS, 2004). Uma característica que une os diversos tipos é a necessidade de interagirem com o meio em que estão inseridos, o qual nem sempre se trata de um ambiente conhecido (SIEGWART e NOURBAKHS, 2004).

Na figura 7, é apresentado um tipo de robô móvel que atua nas indústrias e serviços, utilizando múltiplos sensores e capacidade computacional consegue interagir dentro de um processo produtivo com certa autonomia. Nos modelos mais simples, atuam seguindo trilhas em um percurso previamente definido, contam com sensores de colisão, sensores indicadores do caminho a seguir e, em determinados modelos, são capazes de se conectar com uma estação central de trabalho. Esses modelos utilizam um modelo estático de ambiente e os estímulos recebidos do mesmo são conhecidos e previsíveis.; dessa forma, é possível programar-se a reação dele de acordo com o estímulo recebido (SIEGWART e NOURBAKHS, 2004).

Figura 7 – Robôs móveis industriais - AGV

Fonte – Disponível em <<https://www.crossco.com/blog/difference-between-agvs-and-mobile-robots>>. Acesso em 11 jan. 2019

2.2.7 Tecnologias relacionadas com a evolução da indústria e da robótica industrial

Analisando-se as tecnologias desenvolvidas e utilizadas, durante a evolução da indústria, verifica-se que a arte da fundição de metais inicia o processo evolutivo industrial. Na sequência, tem-se o desenvolvimento de materiais de construção mecânica, em particular o aço, que por sua vez, possibilita a criação da Indústria Mecânica e Metalúrgica. Esses fatores são fundamentais para a criação da produção em massa e têm como características as linhas de montagem, e o barateamento e popularização dos componentes industrializados (DATHEIN, 2003).

Em uma outra trilha, tem-se a mudança da base de energia, do vapor para a eletricidade, viabilizando a expansão da indústria e se transformando em outro pilar da linha de montagem e produção em massa. Também a criação do rádio possibilita o desenvolvimento das comunicações (LANDES 1969; HENDERSON, 1969, apud DATHEIN, 2003).

A partir da segunda metade do século XX tem início a aplicação da robótica nas indústrias. Outras tecnologias foram desenvolvidas nesse período como os semicondutores, transistores, lógica binária, computadores, controladores lógicos programáveis (CLP) e os processadores digitais utilizados no controle dos robôs (IDOETA e CAPUANO, 1994; STEVAN JR., LEME e SANTOS, 2018).

Com a junção da computação, sensoriamento e digitalização de imagem, surgem os sistemas visão de máquina (como são chamados os dispositivos que

visualizam um objeto, digitalizam sua imagem e comparam com códigos predefinidos) podendo ser utilizados tanto em controle da qualidade dos produtos como em sistema de orientação dos robôs autônomos (COSTA e OKAMOTO JR, 2002; ROMANO e DUTRA, 2002).

Numa outra linha de desenvolvimento, tem-se os atuadores, como os motores de passo e servo motores, necessários para possibilitar os movimentos precisos e controlados dos braços dos robôs (ROMANO e DUTRA, 2002).

2.3 Quarta Revolução Industrial e a Indústria 4.0 (2010 – atual)

Em 2011, na Alemanha, surgiu o termo *Indústria 4.0*, apresentado como um plano de ação intitulado *High-Tech Strategy 2020*, com foco no desenvolvimento de uma política para que a Alemanha se transforme num fornecedor, integrador e gerador de padrões de tecnologias de produção inteligentes (ACATECH 2013, apud MDIC e MCTIC, 2016). Forma este plano de ação a base da Quarta Revolução Industrial, que segundo Schwab (2016):

“[...] vem revolucionar a organização das cadeias globais de valor. Ao permitir fábricas inteligentes, a 4ª, R.I. cria um mundo onde sistemas físicos e virtuais de fabricação cooperam de forma global e flexível. Isso permite a total personalização de produtos e a criação de novos modelos operacionais.” (SCHWAB, 2016, p. 16)

Ela tem como princípio a união de entidades de ensino, o governo e as empresas industriais, iniciada na Alemanha pelo *Communication Promoters Group of the Industry - Science Research Alliance* (Grupo de Promotores de Comunicação da Pesquisa Aliança Indústria – Ciência) para descrever a integração das tecnologias de informação e comunicação das empresas na produção industrial (SCHWAB, 2016).

Seguindo os passos das três revoluções industriais anteriores, a 4ª RI vem mudar a maneira como se produz a riqueza no mundo, mudar a configuração e a forma de atuação das empresas e até o funcionamento do governo e das entidades de ensino. Vários países passam a adotar o tema da conexão digital da produção, com nomes como *Advanced Manufacturing* (Manufatura Avançada) e, posteriormente, *Manufacturing USA* nos EUA, *China Manufacturing 2025* na China, *Industrie du Futur* na França e *Society 5.0* no Japão (SCHWAB, 2016; SCHUH et al., 2017; ARBIX et al., 2018; MOREIRA, 2018).

Ações também foram realizadas no Brasil. Em 2015 e 2016, realizou, sob a coordenação do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) e do Ministério Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), o Fórum “Perspectivas de Especialistas Brasileiros sobre a Manufatura Avançada no Brasil”, o qual reuniu representantes de 111 empresas, 51 participantes representando Associações, Federações e outras Instituições, e 55 participantes representando Instituições Públicas. Por meio de workshops realizados em sete estados brasileiros, resultou em um relatório sobre a Indústria 4.0 e o posicionamento do Brasil perante esse assunto (MDIC e MCTIC, 2016).

Conforme Moreira (2018, p. 33), essa Quarta Revolução Industrial é “transfronteiriça pela sua íntima correlação com as tecnologias de comunicação moderna” e é caracterizada pela conexão e desenvolvimento de novos conceitos e tecnologias disruptivas e, principalmente, pela personalização de produtos e serviços. Klaus Schwab (2016) apresenta, em seu livro “A Quarta Revolução Industrial”, *como a linguagem computacional, a Internet das Coisas, a Inteligência Artificial, os robôs e muitas outras tecnologias se somam para dinamizar os processos nos mais diversos segmentos da Indústria*. Schwab defende que as mudanças tecnológicas proporcionadas por ela são tão amplas que significam, sim, uma nova revolução, não uma revolução somente das fábricas, mas do sistema inteiro (SCHWAB, 2016; MOREIRA, 2018).

Uma onda de descobertas surge numa velocidade nunca experimentada pela humanidade. Robôs autônomos, colaborativos, drones, cidades inteligentes, inteligência artificial, pesquisas sobre o cérebro, biotecnologia, são alguns exemplos. É importante neste momento, enxergarem-se as implicações de longo prazo das transformações que estão ocorrendo, conforme apresenta Leurent (2016), no prefácio do trabalho “Perspectivas de especialistas brasileiros sobre a manufatura avançada no Brasil”:

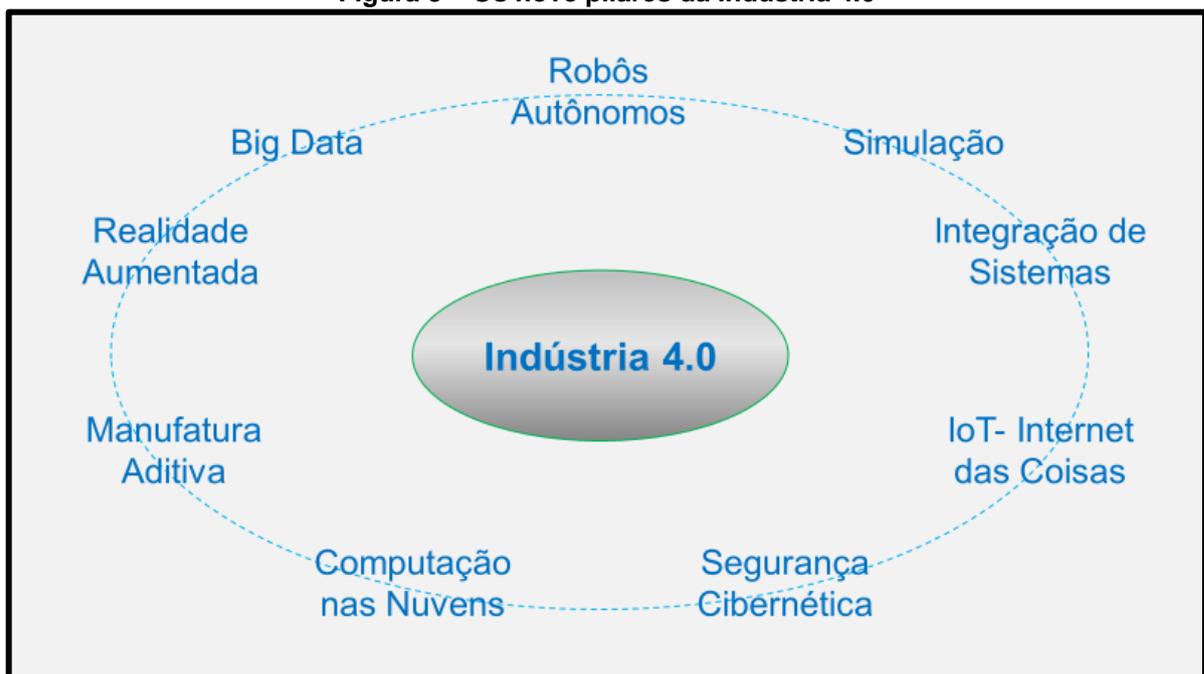
“Tecnologias como a Internet das coisas e robótica avançada, estão misturando as linhas das esferas biológicas, físicas e digitais. O atual ritmo de desenvolvimento tecnológico não possui precedentes na história humana e está exercendo mudanças profundas no modo de viver e trabalhar, além de estar impactando todas as áreas do conhecimento, economias e indústrias. O poder computacional, cada vez mais móvel, está abrindo oportunidades para conectar pessoas em todos os cantos do planeta.” (LEURENT, 2016)

Conforme coloca Schwab (2018) em seu livro “Aplicando a Quarta Revolução Industrial”, as mudanças tecnológicas que estão em andamento têm e terão um impacto enorme no mundo da produção. As melhorias de eficiência serão superiores às ocorridas nas revoluções industriais anteriores. Níveis mais elevados de automação, produção mais rápida e precisa, seres humanos menos expostos a tarefas perigosas serão algumas das consequências disso. Produtos personalizados e de altíssima qualidade, com um tempo mínimo de produção e um custo cada vez menor serão obtidos em processos de Manufatura cada vez mais avançados.

Continua Schwab (2018) afirmando que são muitas as tecnologias que podem caracterizar essa Revolução Industrial ou Indústria 4.0. Como exemplo, os recursos digitais e as redes de comunicação que, apesar de já serem de conhecimento da época anterior, são tidos como exemplos das tecnologias dessa nova revolução industrial. Dessa análise, completa Schwab, que muitas dessas novas tecnologias são o aperfeiçoamento do que já era utilizado. Daí, pode-se inferir, que nenhuma das tecnologias dela seriam possíveis sem os avanços ocorridos nos últimos 60 anos (SCHWAB, 2018).

Assim, Lorenz (2015) alicerçou a Indústria 4.0, não em novas tecnologias, mas em pilares do avanço tecnológico, e descreve os nove pilares que a caracterizam, conforme figura 8 (SCHWAB, 2018; LEURENT, 2016; LORENZ et al, 2015).

Figura 8 – Os nove pilares da Indústria 4.0



Os pilares, apresentados por Lorenz (2015), formam, em sua visão, a base da Indústria 4.0. Apesar de serem tecnologias já utilizadas nos processos produtivos, quando aplicadas dentro do conceito da Indústria 4.0 elas transformam a produção, otimizando processos através da comunicação entre máquinas (M2M⁴) e entre máquina e homens (HMI⁵). Os robôs autônomos, que são objeto deste estudo, formam um dos pilares da Indústria 4.0. Entretanto, segundo Lorenz (2015), serão robôs de menor custo e com maiores capacidades que os utilizados nas indústrias atuais, os preferenciais da Indústria 4.0. (LORENZ, *et al.*, 2015).

Schwab (2016; 2018), por sua vez, apresenta várias tecnologias que impulsionam a 4ª RI, dentre elas a personalização de produtos e a conectividade, ambas com impacto direto no desenvolvimento e aplicação da robótica autônoma.

2.3.1 Personalização: uma das chaves da Quarta Revolução Industrial

A Personalização é uma estratégia de diferenciação a ser aplicada pelas pequenas e médias empresas para conquistar mais clientes. Ao incorporar produtos personalizados, essas empresas podem responder a uma demanda que requer individualização, semelhante a era da fabricação de artesanato, retornando à fabricação exclusiva dos itens experimentada no período anterior a massificação ocorrida na Segunda Revolução Industrial. (TORN e VANEKER, 2019)

“[...] a Quarta Revolução Industrial cria um mundo onde sistemas físicos e virtuais de fabricação cooperam de forma global e flexível. Isso permite a total personalização de produtos e a criação de novos modelos operacionais.” (SCHWAB, 2016, p. 16).

As tecnologias, desenvolvidas até o momento, como Manufatura Aditiva, Internet das Coisas, Aprendizado de Máquina, Inteligência Artificial e, principalmente, a Robótica são utilizadas para essa personalização. Uma revolução das regras dos negócios também está ocorrendo, assim como adequações no mercado consumidor, que procura produtos e serviços individualizados e de baixo custo. (GHOBAKALOO, 2018; WANG, *et al.*, 2017).

⁴ M2M – Machine to Machine – conexão máquina para máquina

⁵ HMI – Human Machine Interface – Interface homem máquina

2.3.2 Conectividade: uma outra chave da Quarta Revolução Industrial

Apesar de se estar no início dessa revolução, já é percebida a velocidade e sua amplitude, ou seja, são bilhões de pessoas conectadas a dispositivos móveis, comunicando-se, gerando dados, armazenando as informações. O aprimoramento das tecnologias, já conhecidas das revoluções industriais anteriores, faz com que novas aplicações apareçam a cada dia; o robô já não é mais algo distante, internet faz parte do cotidiano das pessoas, veículos autônomos, manufatura aditiva, biotecnologia, para citar apenas alguns exemplos (SCHWAB, 2016).

Um importante pilar dessa Quarta Revolução Industrial está na conectividade entre os diversos sistemas, seja numa fábrica, com máquinas atuando em rede com outras máquinas (M2M) ou em uma interface homem-máquinas (IHM); ou mesmo na sociedade, com pessoas ligadas umas às outras através de celulares. Para tanto, é necessário a utilização e o aprimoramento de tecnologias desenvolvidas nas revoluções industriais anteriores, além do desenvolvimento de novas tecnologias, com uma forte integração entre a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação (MACHADO e GALVÃO JUNIOR, 2018).

2.3.3 A Quarta Revolução Industrial e os empregos

Segundo Schwab (2016, p. 42), “As novas tecnologias mudarão drasticamente a natureza do trabalho em todos os setores e ocupações”. Profissões tradicionais perderão espaço para aquelas voltadas à tecnologia. Há consenso entre diversos especialistas, que a maioria das profissões do futuro ainda não foram definidas nas empresas; igual raciocínio pode ser adotado quanto à maneira de preparar a mão de obra para atuar nesse cenário, em especial na atuação dos humanos com os robôs, que necessitam se adequar às essas novas tecnologias (SCHWAB, 2016; PERASSO, 2016).

“O futuro do emprego será feito por vagas que não existem, em indústrias que usam tecnologias novas, em condições planetárias que nenhum ser humano já experimentou”, diz David Ritter, CEO do Greenpeace Austrália/Pacífico em uma coluna sobre a 4ª R. I. para o jornal britânico The Guardian no artigo O que é a 4ª revolução industrial e como ela deve afetar nossas vidas (PERASSO, 2016, p. 1).

Segundo Perasso (2016) os países mais desenvolvidos adotarão as mudanças tecnológicas mais rapidamente, mas assim mesmo os países menos desenvolvidos poderão experimentar evoluções de produtividade e qualidade nunca vistos. Caberá às instituições de ensino acompanharem a evolução tecnológica que está ocorrendo no mundo, e se adaptarem para o ensino tecnológico dentro da Indústria 4.0 (SCHWAB, 2018). Obviamente, toda essa transformação só irá beneficiar quem for capaz de se adaptar e inovar na educação (PERASSO, 2016).

Conforme Barros (2018) em seu artigo “Um pensamento Sistêmico para o Brasil”, inserido na revista Diálogos Estratégicos, está ocorrendo à “destaylorização” das fábricas, visto que antes a riqueza estava no volume da produção; hoje com o “*just-in-time*” trabalha-se com estoque mínimo. O valor passa a ser a capacidade de produção rápida, da inovação e principalmente na informação, matéria prima importante para atender as demandas da indústria. Desaparecem as barreiras entre o digital, o físico e o biológico (SCHWAB, 2016; BARROS, 2018).

“[...] Estamos falando essencialmente de capital intelectual. As inovações tecnológicas, imperativamente, impõem o surgimento de inovações institucionais subjacentes que sejam capazes de lidar com a nova realidade. O mundo do trabalho indica flexibilização crescente e perda de importância relativa do trabalho assalariado clássico. Entramos na era da economia da gratificação instantânea ou do trabalho sob demanda. Os empregos estão se tornando mais fragmentados e as carreiras mais voláteis [...]”. (BARROS, 2018, p. 49).

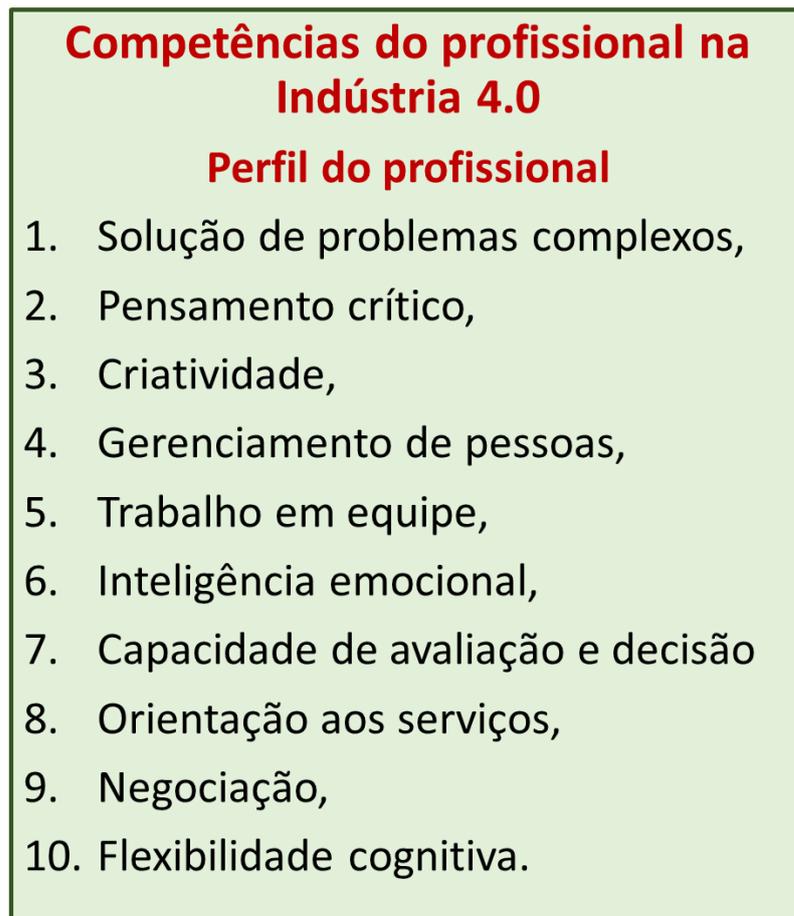
Deve-se ter em mente que, apesar das alterações propostas, as fábricas irão durante um tempo, conviver com múltiplas técnicas de administração industrial e tecnologias de produção. Assim, haverá setores totalmente automatizados, convivendo com setores com operações e controles manuais. As alterações propostas nessa revolução industrial também não atingirão todas as fábricas, sendo que muitas permanecerão com processos produtivos como os desenvolvidos durante as três revoluções industriais. Um desafio para os administradores será conciliar essas situações contrastantes num mesmo ambiente ou numa mesma planta industrial (SCHWAB, 2016; 2018).

Para atuação com essas tecnologias, o Fórum Econômico Mundial apresentou uma sugestão das competências e habilidades desejadas aos profissionais nas indústrias. Com destaque para a autonomia para execução, colaboração nas atividades, flexibilidade e aprendizado constante, multidisciplinaridade, resiliência, e

que seja um profissional globalizado. Nas figuras 9 e 10 estão descritas as competências e habilidades sugeridas pelo Fórum Econômico Mundial (*World Economic Forum*) e apresentadas por Schwab em seu livro, “A Quarta Revolução Industrial” (2016).

Definem-se as habilidades de uma pessoa como as capacitações que ela adquire para realizar tarefas específicas com destreza. Enquanto a competência é a capacidade de uma pessoa de atender a certas demandas, diz respeito à aptidão, habilidade e capacidade de resolver problemas, trata da coordenação das habilidades dessa pessoa com seus conhecimentos e atitudes. Assim, espera-se que um profissional dotado de determinadas competências tenha mais facilidade de atuar no mercado de trabalho (GARCIA, 2005).

Figura 9 - Principais competências do profissional para atuação com a Indústria 4.0 segundo a *World Economic Forum* apud Schwab, (2016)



Fonte: (WORD ECONOMIC FORUM, apud SCHWAB, 2016)

Figura 10 - Principais habilidades do profissional para atuação com a Indústria 4.0 segundo a *Word Economic Forum* apud Schwab, (2016)



Fonte: (WORD ECONOMIC FORUM, apud SCHWAB, 2016)

2.3.4 As Tecnologias da Quarta Revolução Industrial

Não é suficiente somente abordar as tecnologias envolvidas, tem-se que observar aspectos culturais, de organização, além dos emocionais, conforme apresentado no estudo da Acatech, *Managing the Digital Transformation of Companies* (2017):

“[...] não é suficiente abordar os desenvolvimentos associados à 4ª. R. I. a partir de apenas uma perspectiva tecnológica - as empresas também precisam transformar sua organização e cultura. Embora as tecnologias avançadas possibilitem o acesso a uma gama muito maior de dados, a capacidade de alavancar o potencial subjacente desses dados depende da estrutura organizacional e da cultura de uma empresa. O objetivo final é tornar-se uma empresa ágil, capaz de adaptação contínua e ágil a um ambiente em mudança.” (SCHUH, 2017, p. 10).

A tecnologia é fruto do conhecimento humano, acumulado ao longo dos tempos, e uma das atribuições do desenvolvimento tecnológico está na redução dos custos da empresa e incremento da produção de bens, sejam eles bens de consumo ou bens de capital. Colaboram para gerar avanços significativos na qualidade de vida da humanidade, influenciando inclusive no aumento da expectativa de vida. O rápido avanço das pesquisas e a disponibilização destas tecnologias para consumo têm caracterizado uma mudança em segmentos econômicos e de produção, permitindo ganhos de escala, maior eficiência, customização em massa e novos processos fabris (BARROS, 2018).

Dentro desse contexto, cita Klaus Schwab (21016) que uma boa parte dessas inovações encontra-se na área das pesquisas acadêmicas ou nos centros de pesquisa e desenvolvimento das indústrias; muitas não se tornarão realidade, outras farão parte do nosso cotidiano, mas tem-se que admitir, que elas estão alterando o modo de vida das pessoas no mundo todo.

“Imagine as possibilidades ilimitadas de bilhões de pessoas conectadas por dispositivos móveis, dando origem a um poder de processamento, recursos de armazenamento e acesso ao conhecimento sem precedentes. Ou imagine a assombrosa profusão de novidades tecnológicas que abrangem numerosas áreas: inteligência artificial (IA), robótica, a internet das coisas (IoT na sigla em inglês), veículos autônomos, impressão em 3D, nanotecnologia, biotecnologia, ciência dos materiais, armazenamento de energia e computação quântica, para citar apenas algumas. Muitas dessas inovações estão apenas no início, mas já estão chegando a um ponto de inflexão de seu desenvolvimento, pois elas constroem e amplificam umas às outras, fundindo as tecnologias dos mundos físico, digital e biológico.” (SCHWAB 2016, p.11).

Dois dos pilares da Indústria 4.0, a conectividade e a Inteligência Artificial, são presentes nesse quesito. Mas é necessário a utilização e o aprimoramento de tecnologias já desenvolvidas, além de novas tecnologias, conseguidas através de uma forte integração entre a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação. Na sequência se realiza um breve relato destas. (MACHADO e GALVÃO JUNIOR, 2018).

- a) IA - Inteligência Artificial, utiliza tecnologias que, a partir de um modelo preditivo, determinam correlações em conjuntos de informações ou dados, e com isso podem executar tarefas ou sugerir ações (IFR, 2018).
- b) Conectividade – obtida a partir da interação do controle dos robôs com o meio onde ele atua. É conseguida com a aplicação de sensores, que são dispositivos capazes de obter informações do meio externo e enviar os dados, na forma de estímulos elétricos aos controladores (MOREIRA, 2018), e Sistemas de Visão, também conhecidos como Visão Máquina, que são constituídos de uma câmera que capta a imagem, um processador que transforma essa imagem em sinais digitais, um sistema de controle que analisa as informações e decide o que fazer e uma interface que transfere as informações para o robô (PAZOS, 2002).
- c) Aprendizado de Máquina ou Máquinas que Aprendem, do Inglês *Machine Learning*, trata de sistemas que possuem a capacidade de adquirir conhecimentos por conta própria (MUNOZ, 2019).

- d) Computação Cognitiva, é a tecnologia que simula processos do pensamento humano em um modelo computadorizado, utilizando a inteligência computacional para auxiliar na tomada de decisões, apoiada na Inteligência artificial e no processamento de sinais, obtidos pela conectividade com o meio (MENA, 2017).
- e) Manufatura Aditiva, inicialmente conhecida como impressão 3D, trata-se de um processo de deposição de material. A peça é formada em camadas, com utilização de materiais poliméricos ou metálicos e, pelas características da operação, é possível a fabricação de peças complexas. É uma das alternativas estudadas para utilização da robótica autônoma para a criação de colônias na exploração espacial (SCHWAB, 2018, p. p. 148; KAKU, 2018)
- f) Segurança Cibernética, um dos tópicos bastante discutidos atualmente. Com uma robótica totalmente autônoma, o impedimento da atuação dos “*hackers*” (pessoas ou sistemas que entram nos sistemas conectados), passa a ser uma prioridade, não só dos usuários, mas dos governos na proteção de suas máquinas e informações (SCHWAB, 2018).
- g) Internet das Coisas – IoT é um dos elementos centrais da Quarta Revolução Industrial, são sensores e outros dispositivos conectados entre si que coletam, processam e transformam os dados de acordo com a necessidade, enviam os dados a outros dispositivos, em distâncias continentais, para atender aos objetivos de uma tarefa. Utilizando a análise de dados (*Big Data Analytics*), ajudam as empresas e os indivíduos a prever o desempenho dos equipamentos e bens. Uma possibilidade estudada é a criação de objetos inteligentes e interativos, atuando em conjunto com as demais tecnologias como os drones e os robôs autônomos. Também é fortemente impactada pelas questões de Segurança Cibernética (SCHWAB 2018).
- h) *Big Data Analytics* - o volume de dados gerados numa corporação e nos processos produtivos cresce exponencialmente, e para controlar e conseguir resultados dessas informações faz-se necessário um esforço muito grande das organizações. Surge então, como um dos pilares da Indústria 4.0 a análise desses dados de forma a obter uma interpretação significativa dela. A análise de *big data* examina grandes quantidades de

dados para descobrir padrões ocultos, correlações e outras percepções (DAVENPORT e DYCHÉ, 2013).

- i) Simulação computacional. Permite simular o comportamento de um projeto no computador, sabendo com antecedência seu comportamento e permitindo alterações ainda na fase de projeto. Também permite melhorar o desempenho dos produtos. (CAE, 2019).
- j) A Realidade Virtual – RV, Realidade Aumentada – RA e Realidade Mista – RM, em conjunto, revolucionam a forma como experimentamos, compreendemos e interagimos com o mundo ao nosso redor. A RV é a simulação de um ambiente, que permite um mergulho do usuário numa visão em 3D interagindo com ele. Pode ser a simulação de uma máquina, ou de um projeto que está sendo desenvolvido. O objetivo é criar a sensação de presença do usuário no ambiente que está sendo analisado. Enquanto a RV substitui o mundo real por um simulado, a RA e a RM melhoram essa percepção. Com essas tecnologias pode-se por exemplo simular a ação de um robô autônomo num ambiente fabril, ou realizar uma manutenção de equipamento estando remotamente conectado (SCHWAB, 2018, p. 249).
- k) *Cyber Physical Systems* – CPS, trata-se de integrações entre computação, redes e processos físicos, formando um sistema de elementos computacionais colaborativos, uma evolução aos sistemas embarcados, bastante aplicados em área como a aeroespacial, processos produtivos, controle de tráfego, sistemas automotivos, controle de energia, entre outros. O CPS integra a dinâmica dos processos físicos com os do software e da rede, fornecendo abstrações e técnicas de modelagem, projeto e análise para o todo integrado. Enquanto sistemas embarcados concentram-se mais nos elementos computacionais, os sistemas CPS enfatizam o papel das ligações entre os elementos computacionais e elementos físicos (LEE, 2006).
- l) *Computação Quântica*, é utilizado o “bit quântico” ou “qubit”, que assume uma infinidade de valores entre os dois estados da tecnologia binária. Com isso uma pequena variação pode ocasionar uma mudança de estado, e tem o potencial de ser milhões de vezes mais poderosos que os supercomputadores atuais. Deverá se constituir num dos exemplos mais

disruptivos dessa revolução industrial. Ainda pouco desenvolvido, pode se tornar um grande aliado no desenvolvimento e aplicação da Inteligência Artificial. Pode-se pensar de que forma a computação quântica está relacionada com robôs autônomos, e para responder, basta imaginar a quantidade de informações e a velocidade de processamento delas numa ação da Inteligência Artificial para comando de um veículo totalmente autônomo trafegando em uma via pública. Se considerarmos que esse veículo nada mais é que a evolução de um robô móvel tipo AGV teremos a relatividade entre os assuntos (SCHWAB 2018, pp. 179-187).

Algumas outras tecnologias se encontram em desenvolvimento, e que, num primeiro momento podem não ser relacionadas diretamente com a robótica, mas deve-se observá-las pois poderão fazer parte dos robôs em breve (SCHWAB, 2016; SCHWAB, 2018)

Na medicina, a Biologia Sintética, biomedicina; biotecnologia; ciências do cérebro, neurociência avançada, neuro tecnologia. Novos Materiais: Nanotecnologia; novos materiais como o grafeno. Tecnologia que permitirá a construção de robôs em tamanhos reduzidos, com aplicação prevista na exploração espacial e nanorobôs que poderão ser utilizados na medicina. (KAKU, 2018)

Na agricultura de precisão, os novos equipamentos de plantação e colheita já utilizam a tecnologia robótica para atuação com maior produtividade, como exemplo as colheitadeiras autônomas. Na economia, com aplicativos de economia compartilhada tipo *Uber*, *Airnb*, *Alibaba*, *Cabify*, que possibilitam o surgimento de novos modelos de negócios. E em novas formas de geração e armazenamento de energia, fundamentais para o aprimoramento dos veículos elétricos e também para a exploração espacial. (MACHADO e GALVÃO JUNIOR, 2018; KAKU, 2018).

Hoje é quase unânime que os robôs representam muito para a humanidade, porque eles podem protegê-la e ajudá-la na busca de uma melhor qualidade de vida. “Os robôs já fazem parte da vida de muitos seres humanos e de muitas fábricas em países desenvolvidos como Japão e países emergentes como China” (MACHADO e GALVÃO JUNIOR, 2018, p. 1).

2.4 A robótica no ambiente industrial da Quarta Revolução Industrial.

Um questionamento a se colocar é: “qual é o diferencial da ação da robótica industrial na Quarta Revolução Industrial?”

Pode-se pensar nos robôs atuando em um ambiente não estruturado, com tarefas programadas, ou mesmo necessitando definir suas próprias tarefas. Por exemplo, numa atuação de exploração espacial, isto os aproxima ao conceito de autonomia, expressado como um dos pilares da Indústria 4.0. (KAKU, 2018, p. 123)

Neste item do trabalho, busca-se apresentar as tecnologias que estão envolvidas na atuação desses robôs, entender melhor essas tecnologias da Indústria 4.0, e o que se está apresentando no campo da robótica autônoma, além de verificar como as academias estão se preparando.

Como apresenta Groover (1988), a aplicação prática de robôs é iniciada na década de 1960, com aplicação industrial, e em tarefas rigidamente controladas. Já Schwab (2016, p 25), coloca a utilização deles “[...] em todos os setores e para uma ampla gama de tarefas, seja na agricultura de precisão, seja na enfermagem.” Segue dizendo que eles estão se tornando mais flexíveis e com a utilização de tecnologias de sensoriamento, comunicação, conexão, e controle mais desenvolvidas. Isso representa um dos nove pilares da Indústria 4.0 descritos anteriormente. Pensa-se assim em uma robótica mais evoluída tecnicamente, capaz de interagir com diversas máquinas, compreender e responder melhor ao seu ambiente, atuando, em determinadas situações autonomamente.

Deseja-se que um Robô Autônomo tenha a capacidade de interagir com o meio e a inteligência para decidir suas ações objetivando o atingimento de uma determinada meta. Para tal a conectividade com o meio, tem uma importância fundamental, é através dela que existirá a integração do robô com as máquinas e com o ambiente, permitindo ao seu sistema de inteligência, a análise e decisão do que fazer.

2.4.1 Robôs Colaborativos

Pensando em minimizar os prejuízos causados pelas paradas de linha por segurança e utilizando a evolução da tecnologia de sensoriamento, surgem os robôs colaborativos, chamados de COBOTS, adequados aos trabalhos da robótica

autônoma da Indústria 4.0. Trata-se de uma nova geração, projetados para executar tarefas em colaboração com os trabalhadores no mesmo ambiente industrial.

“Embora os cobots - robôs colaborativos que trabalham com pessoas, apresentem desafios técnicos significativamente mais complexos que os robôs industriais, as oportunidades para aprimoramento de nossos locais de trabalho humanos são ilimitadas.” (CHU, 2019, p. 1).

Mais evoluídos, com sensores que permitem perceber as pessoas com maior segurança, permitindo o trabalho num mesmo ambiente, o robô e os operadores compartilhando o local de trabalho e realizando tarefas complementares, cada um dentro de suas capacidades e habilidades. Capazes de interagir com o ambiente e se conectar com outras máquinas ou com os operadores, capazes também de operar em ambientes caóticos ou não estruturados, em ritmo acelerado.

Segundo Chu (2019), os Cobots possuem uma estrutura técnica que envolvem uma variedade de entradas sensoriais, em particular dados de sinais visuais, auditivos e tácteis. podem modificar suas ações com no ambiente e têm a habilidade de manipulação adaptativa de objetos. Além disso, devem ser capazes de auxiliar os humanos nas tarefas altamente precisas, e o mais importante é que tenham a capacidade de aprender com os humanos, num “*aprendizado guiado por humanos*”. A aplicação dos Cobots pode ser mais significativa, substituindo os operadores nas tarefas, que envolvam alguma rotina, uma precisão maior, ou um desgaste por tarefa insalubre ou cansativa, liberando-os para tarefas que envolvam mais as habilidades puramente humanas, como habilidades analíticas, emocionais, de relacionamento ou intuição, ou seja, habilidades centradas no ser humano (CHU, 2019).

A Federação Internacional de Robótica define dois tipos de robôs colaborativos: aqueles que atendem plenamente a ISO 10218-1, que especifica as diretrizes de segurança dos Cobots; e um outro grupo, que apesar de serem chamados de colaborativos, não seguem integralmente a norma ISO, mas atendem a padrões nacionais ou internos das empresas (IFR, 2018; ROBOTS, 2019; ISO8373:2012, 2016).

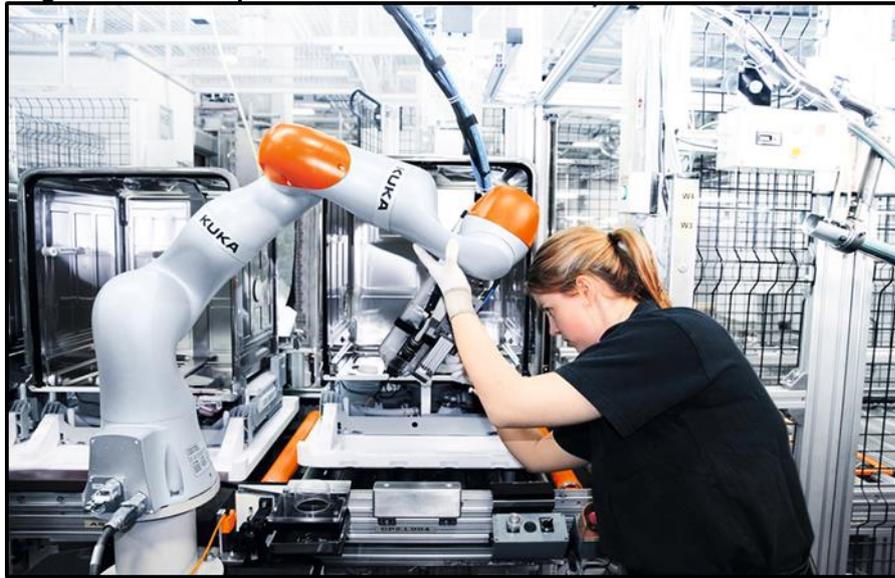
Numa versão inicial, há os robôs operando em um espaço separado, à semelhança dos industriais tradicionais, porém com várias zonas de segurança, criam-se áreas com níveis de segurança diferentes. Assim pode-se ter uma área onde a presença humana, quando detectada, faz com que o robô somente reduza a velocidade de trabalho; em áreas mais próximas pode haver o desligamento total da

energia do robô. Tem-se que ter em mente que a produtividade do Cobot reduz à medida, que se permite o acesso às zonas de segurança; assim para uma maior produtividade, deve-se optar pelos convencionais isolados em gaiolas de segurança. Em uma outra versão, eles são projetados especificamente para trabalhar no mesmo ambiente dos humanos, os Cobots, propriamente ditos são projetados com uma série de sensores que medem e controlam a força e a velocidade dos braços, além de cantos arredondados e outras características técnicas que garantem não causar danos aos humanos (IFR, 2018; ROBOTS, 2019).

Os robôs colaborativos podem ser um excelente início para a automação com robótica, podendo automatizar alguns segmentos de uma linha de produção sem alterar o restante da linha, ou seja, isso pode provocar as melhorias de produtividade e qualidade oferecidos pela robotização. A aplicação vai indicar o tipo adequado a ser utilizado; a velocidade, precisão, capacidade de carga são fatores determinantes, quanto a escolha de robôs ou cobots. Deve-se levar em consideração que os tradicionais, atuando em ambientes isolados sempre vão constituir a opção mais econômica, e como já comentado, quando se aumenta a acessibilidade do robô diminui-se a produtividade, além de se ter equipamentos mais caros. Quanto mais integração for necessária, maior será o custo da instalação do robô (IFR, 2018; ROBOTS, 2019).

Um estudo da RIA, em aplicações de usuários finais, apresenta seu uso nos setores automotivo, aeroespacial, energia, eletrodomésticos, consumíveis pessoais e domésticos. Está-se vivenciando a colaboração entre humanos e robôs na classificação e montagem de kits, embalagem e paletização, inspeção, manutenção de máquinas, colagem e vedação, polimento, montagem, intralogística e até mesmo soldagem com Cobots. A figura 11 apresenta um Cobot em ação junto com uma operadora em ambiente compartilhado (ANANDAN, 2018)

Figura 11 – Exemplo de Robô Colaborativo em uso industrial - Cobot



Fonte: Fabricante KUKA, Disponível em <<https://www.fircroft.com/blogs/cobots-will-play-an-important-role-in-helping-to-fill-the-uks-85423123655>>. Acesso em 10 jan. 2019

2.4.2 Robôs Móveis Autônomos e Robôs Autônomos

A atenção dos pesquisadores tem se voltado para o desenvolvimento de robôs móveis capazes de se deslocar em qualquer ambiente, interagindo com ele, denominados de Robôs Móveis Autônomos – RMAs e Veículos Autônomos Inteligentes (Jung 2005). Pesquisas recentes mostram aplicações no transporte urbano como os veículos autônomos (ainda em fase de desenvolvimento) e aplicações militares nos sistemas de monitoramento aéreo e ataque com o VANT, entre muitas outras aplicações (WOLF et al., 2009).

Na robótica autônoma se requer mais do que apenas a execução de tarefas repetitivas. Eles devem ser capazes de aprimorar o trabalho humano e fazer parte da equipe de trabalho. O futuro requer robôs que possam operar em ambientes não estruturados e para tal, precisam ter capacidade de aprendizado constante e serem capazes de reagir a situações inesperadas. (SCHWAB 2018)

A ação dos sensores tem um papel preponderante na transmissão da informação das variáveis do meio ambiente ao comando, para tomada das ações necessárias. Maiores níveis de autonomia são obtidos com a evolução da:

- i) capacidade de percepção – evolução dos sensores;
- ii) capacidade de agir – reação computacional à percepção sensorial;

- iii) inteligência - com a capacidade de decidir as próprias ações e, às vezes, aprender com os fatos ocorridos, executando as tarefas por mais complexas que sejam (WOLF, *et al.*, 2009).

Aplicada essa tecnologia nos robôs móveis cria-se uma nova família, comercialmente tratados de MIR – *Mobile Industrial Robots*. Na versão apresentada na figura 12, instalou-se um COBOT sobre um MIR, oferecendo a mobilidade que os industriais não possuíam até então. Isso transforma um robô móvel, num equipamento que, além de transportar as peças, pode executar tarefas destinadas aos braços robóticos nas estações de trabalho (EITEL, 2019).

Figura 12 – MIR *Mobile Industrial Robot* da *Universal Robotics*



Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=O3PmmS9v_SY

Um outro exemplo pode ser observado na ação dos robôs MOXI, desenvolvido para atuação dentro de hospitais, são uma conjunção da tecnologia do MIR com o COBOT, apresentado na figura 13.

Figura 13 - O COBOT MOXI atuando num ambiente hospitalar.



Fonte: Cobot móvel atuando em ambiente hospitalar, Disponível em: <https://diligentrobots.com/moxi>. Acesso em 30 jun. 2019

Vivian Chu, criadora da *Diligent Robotics* cita uma experiência com o MOXI num ambiente hospitalar:

“Moxi ouve, usando entrada auditiva, uma situação ambulatorial inesperada, então Moxi se vira e vê, usando dados visuais, um paciente em uma maca sendo rapidamente levado para ele no lado esquerdo do corredor; Moxi precisa aprender que precisa se mover rapidamente para o lado direito do corredor fora do caminho. Em outra situação o Moxi precisa pegar uma gaze para entregar no quarto 429, mas percebe que nunca aprendeu a pegar uma gaze. Moxi então pede para ser ensinado da informação crucial para identificar e manipular uma gaze. Quando percebemos uma estrutura nos ambientes tipicamente humanos, o que torna as tarefas muito difíceis para os robôs, obtemos a ajuda das pessoas. Quando os professores humanos, a mais rica fonte de informação, são adicionados à equação, tarefas que anteriormente eram impossíveis para os robôs se tornam possíveis. Entender como os professores humanos podem guiar as cobots e como os cobots podem aprender com os professores humanos é o ingrediente-chave para integrar com sucesso os cobots de apoio humano no mundo real.” (CHU, 2019, p. 1).

Em uma outra linha de pesquisa, apresentam-se os robôs autônomos desenvolvidos pela empresa *Boston Dynamics*, como o BigDog, visto na figura 14, um robô que anda, corre, sobe e carrega cargas pesadas desenvolvido para operações militares de apoio. O BigDog, com o tamanho de um cão grande, tem quatro pernas que são articuladas como as de um animal, com elementos compatíveis para absorver o choque e reciclar energia de um passo para o outro.

O computador de bordo do BigDog controla a locomoção, processa sensores e realiza comunicações com o usuário. O sistema de controle o mantém equilibrado, gerencia a locomoção em uma ampla variedade de terrenos e executa a navegação. Para locomoção possuem sensores de posição e força articular, contato e carga com o solo, um giroscópio, LIDAR⁶ e um sistema de visão estéreo. Outros sensores focalizam seu estado interno, monitorando a pressão hidráulica, temperatura do óleo, funções do motor, carga da bateria e outros. Opera a 10 km / h, sobe inclinações de até 35 graus, atravessa obstáculos, sobe em trilhas enlameadas, caminha na neve e na água e transporta cargas de até 150 kg. Financiado inicialmente pela DARPA (*Defense Advanced Reserarch Projects Agency*), teve a adição de um manipulador e fazer manipulação dinâmica, sendo este financiado pelo programa RCTA (*Robotics Collaborative Technology Alliance*) do Laboratório de Pesquisa do Exército (DYNAMICS, 2019).

Figura 14 - Robô BigDog em simulação de operação de carregamento de carga em operação militar.



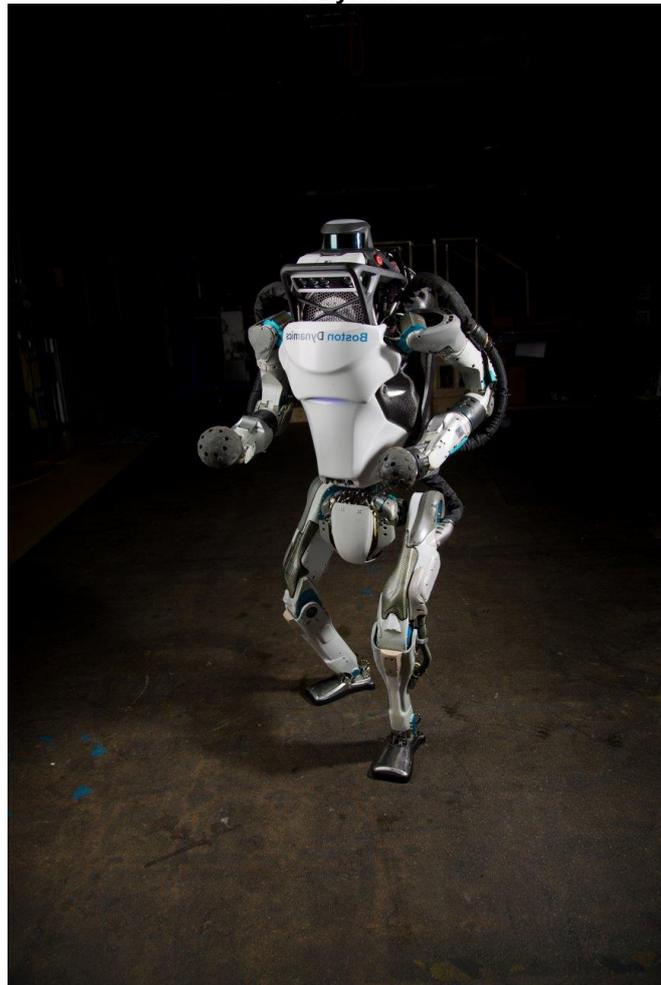
Fonte: Disponível em <https://www.bostondynamics.com/bigdog#&gid=1&pid=1>. Acesso em 19 jul.2019

⁶ LIDAR (da sigla inglesa *Light Detection And Ranging*) é uma tecnologia óptica de detecção remota que mede propriedades da luz refletida de modo a obter a distância e/ou outra informação a respeito um determinado objeto distante. Disponível em <<https://pt.wikipedia.org/wiki/LIDAR>>, Acesso em 19 jul.2019

A Boston Dynamics pesquisa outros tipos de robôs autônomos como o Atlas, robô humanoide apresentado na figura 15:

“Atlas é o mais recente em uma linha de robôs humanóides avançados que estamos desenvolvendo. O sistema de controle da Atlas coordena os movimentos dos braços, tronco e pernas para alcançar a manipulação móvel em todo o corpo, expandindo enormemente seu alcance e espaço de trabalho. A capacidade do Atlas de se equilibrar durante a execução de tarefas permite que ele trabalhe em um grande volume, ocupando apenas uma pequena área ocupada. O hardware Atlas aproveita a impressão 3D para economizar peso e espaço, resultando em um robusto robô compacto com alta relação resistência-peso e um espaço de trabalho drasticamente grande. A visão estérea, o sensor de alcance e outros sensores dão ao Atlas a capacidade de manipular objetos em seu ambiente e andar em terrenos acidentados. O Atlas mantém o equilíbrio quando empurrado ou empurrado e pode se levantar se ele tombar.” (DYNAMICS, 2019, p. 1).

Figura 15 - Robô Humanoide desenvolvido pela Boston Dynamics



Fonte: Disponível em <https://www.bostondynamics.com/atlas#&gid=1&pid=3e> entre eles o Handle aceso em 19.jul.2019

E para uma aplicação industrial e comercial, o Handle que usa pernas e rodas para o manuseio de materiais é mostrado na figura 16.

“Usando um sistema de contrapeso ativo, o Handle pode pegar e mover caixas pesando mais de 30 lbs. Seu design versátil permite lidar com tarefas de construção de paletes, despaletização e descarga de caminhões no depósito. O design do Handle combina as mesmas características de dinâmica, equilíbrio e manipulação móvel de robôs quadrúpedes ou humanoides, mas em um sistema significativamente simplificado. A combinação de poder e agilidade torna o Handle capaz de automatizar tarefas difíceis de manipulação em ambientes de tamanho humano sem a necessidade de instalar equipamentos adicionais complicados.” (DYNAMICS, 2019, p. 1).

Figura 16 - Handle – Mobile Box Handling Robots for Logistics



Fonte: Disponível em <https://www.bostondynamics.com/handle>, Acesso em 19 jul.2019

2.5 Ensino de robótica na Terceira Revolução Industrial e os desafios para a Quarta Revolução Industrial.

Desde a 1ª. Revolução Industrial observa-se que a atuação dos profissionais, com as tecnologias desenvolvidas, requeria competências, como conhecimento mecânico e escolaridade básica, e necessidade de habilidades, como ação com metais. (HOBSBAWM, 2011). À medida que novas tecnologias foram desenvolvidas, nas revoluções industriais seguintes, novas competências e habilidades foram necessárias de seus partícipes, para acompanhar essa evolução. Surge, então, a busca pelo conhecimento nas escolas, institutos e universidades, visando o investimento no capital humano, como coloca Castro (2018), em seu artigo “O futuro da educação na Indústria 4.0”, apresentado no estudo Diálogos Estratégicos:

“Numa economia global baseada no conhecimento, o investimento em capital humano é um componente essencial de qualquer estratégia de crescimento inclusiva. Quando os trabalhadores não têm as competências necessárias, novas tecnologias e processos de produção são adotados mais lentamente e não se traduzem em novos modelos de crescimento com atividades de maior valor agregado. As competências afetam a vida do indivíduo e seu bem-estar muito além do que pode ser mensurado pelos ganhos do mercado de trabalho e pelo crescimento econômico. Nesse contexto, a Indústria 4.0, também conhecida como a Quarta Revolução Industrial, um novo conceito de indústria, engloba inovações tecnológicas nas áreas de automação e tecnologia de informação, aplicadas aos processos industriais. Tornar mais eficiente, autônomos e customizáveis os processos de manufaturas por meio de sistemas cyber-físicos, internet e de serviços são metas a serem percorridas pelas indústrias.” (CASTRO, 2018, p. 57)

Destaca-se, nesse panorama, a evolução da educação, desde a informalidade aplicada até a Primeira Revolução Industrial, passando por uma educação mais massificada, que no final do século XIX, caracterizou-se pela criação e expansão do ensino seriado, chegando até ao momento atual (LIMA, 2019). A análise da evolução educacional é importante para que se estabeleçam os parâmetros da nova Educação no Brasil, conforme coloca Costin (2018) em seu artigo, *O futuro do Trabalho e a educação no Brasil*.

“[...]educação no Brasil deve não apenas melhorar a qualidade no desenvolvimento de competências já demandadas pelo mundo do trabalho, mas preparar a futura geração de adultos para resolução colaborativa de problemas, pensamento crítico, flexibilidade e adaptabilidade, criatividade, experimentação e abertura a novas experiências, as chamadas competências do século XXI.” (COSTIN, 2018, p. 55)

Busca-se uma forma de preparação da mão de obra mais adequada para enfrentar esses desafios que se apresentam. Neste capítulo, apresentar-se-á uma ideia de como evoluiu a didática através dos anos, até se chegar ao ensino por Competências, Habilidades e Atitudes (CHA), que se apresenta como uma das alternativas de ensino.

2.5.1 A didática através das Revoluções Industriais

Os conceitos de educação convergem para a transmissão do conhecimento ou de hábitos. No passado, quando as escolas de educação formais eram raras, o conhecimento era transmitido pelo ensino e aprendizado prático das técnicas, seja na produção de bens, no artesanato ou nas artes. Assim, o jovem aprendiz tinha no

mestre artesão seu instrutor, e aprendia uma profissão atuando junto com ele (BOUFLEUER, 2018).

Estabelecendo-se que a educação é um processo contínuo de formação e aprendizagem, conforme coloca Cláudio Dalbosco (2009, apud Boufleuer, 2019), pode-se conceituar a educação como um diálogo vivo entre gerações, e que tem como um de seus objetivos transmitir os conhecimentos às novas gerações. Esse é o objetivo dos estabelecimentos oficiais de ensino, sejam eles públicos ou privados (BOUFLEUER, 2018).

“[...] a educação é um conceito genérico utilizado para designar um conjunto de práticas e atividades mediante as quais, e graças as quais, os grupos sociais promovem o desenvolvimento e a socialização de seus membros e garantem o funcionamento de um dos mecanismos essenciais da evolução da espécie humana: a herança cultural.” (Coll 1999, pág.9 apud ZILLI 2004, p.12)

Muitos estudos consideram que o investimento em capital humano é responsável por grande parte das diferenças de produtividade entre os países (HALL e JONES, 1998; MANKIW, ROMER e WEIL, 1992).

2.5.2 A pedagogia tradicional

Os sistemas tradicionais de ensino inspiraram-se no princípio de que a “educação é direito de todos e dever do estado” (SAVIANI, 1999, p. 16). Surge então a escola tradicional, para difundir a instrução e transmitir os conhecimentos acumulados pelos professores mestres. A tarefa do professor se desenvolve não de forma individual e personalizada, mas de forma coletiva. O aluno passa a ser mais um, o professor, especialista em determinada área, passa a transmitir conhecimentos sem a personalização no ensino mestre/discípulo que era o modelo vigente. (SAVIANI, 1999)

“Nesse quadro, a causa da marginalidade é identificada com a ignorância. É marginalizado da nova sociedade quem não é esclarecido. A escola surge como um antídoto à ignorância, logo, um instrumento para equacionar o problema da marginalidade. Seu papel é difundir a instrução, transmitir os conhecimentos acumulados pela humanidade e sistematizados logicamente. O mestre-escola será o artífice dessa grande obra. A escola se organiza, pois, como uma agência centrada no professor, o qual transmite, segundo uma gradação lógica, o acervo cultural aos alunos. A estes cabe assimilar os conhecimentos que lhes são transmitidos.” (SAVIANI 1999, p. 18).

Ao longo de sua existência a escola tradicional, como é conhecida hoje, sofre inúmeras transformações, mas sempre se tem questionado sobre os padrões de ensino exigidos na atualidade tecnológica. Conforme coloca Saviani (1999), a maioria das instituições de ensino atendem ao modelo tradicional de escola e ensino conteudista, diversos estudos têm sido realizados, visando sua modernização. O modelo seguido surgiu no século XIX e foi universalizado no território nacional no século XX, mas é fato que as diferenças entre as regiões exercem influência nos resultados obtidos por essa universalização do ensino. A escola se organiza como uma agência centrada no professor, o qual transmite, segundo uma gradação lógica, o acervo cultural aos alunos. A estes cabe assimilar os conhecimentos que lhes são transmitidos, e passa a fazer parte do cotidiano e das obrigações da família e do Estado para com suas crianças e adolescentes.

2.5.3 Construtivismo e Construcionismo

Considera-se que modelo tradicional de ensino, baseado na transmissão de conhecimentos de um professor a um grupo de alunos, utilizado, desde há muito tempo, não atinge totalmente seu objetivo atualmente, como coloca Papert (1980):

i) O aluno consegue captar somente parte do que é apresentado em sala, muitas vezes sem ver onde e como essa informação será útil para a vida dele, profissional ou pessoal,

ii) O método de avaliação, em sua grande maioria, se satisfaz com o aprendizado de 50% a 60% do conteúdo apresentado, o que significa que o aluno pode ter aprendido metade da matéria (o que se reflete na média 5,0 ou 6,0 para aprovação),

iii) Como o aluno, muitas vezes, não enxerga onde a informação que está sendo passada vai ser utilizada em sua vida, fica desestimulado a se aprofundar nos assuntos e mesmo a continuar nos estudos.

Inspirado nas ideias de Jean Piaget, que afirmou que só se pode aprender aquilo para qual se está preparado a assimilar e que cabe aos professores aperfeiçoar o processo de descoberta dos alunos, foi desenvolvido o método construtivista, que instiga a curiosidade do aluno a encontrar respostas a partir de seus conhecimentos, da interação com outros alunos, e da procura do conhecimento com seus professores (BARBOSA, 2015).

Já o construcionismo diz respeito à construção do conhecimento baseada na realização de uma ação concreta, que resulta em um produto que seja de interesse de quem o produz.

Uma das formas de construcionismo pode ser desenvolvida com o auxílio do computador, mediada por uma linguagem de programação, como é o caso do Logo, linguagem de programação criada por Papert, para possibilitar a interação aluno-objeto em projetos específicos. Nela o aluno aprende com seus próprios erros. Os erros de seu raciocínio são percebidos e demonstrados na tela, permitindo que o mesmo pense e, a partir do verificado, encontre a solução mais adequada para a situação proposta (PAPERT, 1980).

2.5.4 Metodologias Ativas

Na metodologia ativa de ensino busca-se colocar o estudante no centro das ações educativas como estratégia pedagógica, permitindo que o conhecimento seja construído de forma colaborativa, ativa e centrada na reflexão. Com isso, espera-se uma postura mais ativa dos estudantes e, com estudos de caso e atividades práticas, busca-se um processo que visa estimular a autoaprendizagem e a curiosidade do estudante para pesquisar, refletir e analisar possíveis situações para tomada de decisão, sendo o professor apenas o facilitador desse processo (BASTOS, 2006 apud BERBEL, 2011; SANTOS e RIBEIRO, 2018).

A efetivação de um aprendizado baseado em metodologias ativas traz algumas dificuldades. O professor atua como facilitador ou orientador estimulando o estudante para que desenvolva suas competências e habilidades, faça pesquisas e decida por ele mesmo. A questão, muitas vezes, é como fazer para atingir os objetivos estabelecidos e, nesse momento, as práticas de laboratório podem colaborar com esse processo, pela possibilidade do aluno de unir a teoria com a prática em atividades menos rotineiras e mais desafiadoras (BERBEL, 2011; SANTOS e RIBEIRO, 2018).

A figura 17 apresenta o que se entende por uma abordagem pautada em metodologias ativas de ensino. O aluno tem o papel de centro de aprendizagem e o professor passa a atuar como mediador. Deseja-se nesse ambiente que o aluno tenha autonomia e estimula-se o trabalho em equipe, além da reflexão e análise do problema. Também é importante que a inovação seja sempre estimulada (SANTOS e RIBEIRO, 2018).

Figura 17 - Princípios que constituem as metodologias ativas de ensino



Fonte: Adaptado de (DIESEL, SANTOS, & MARTINS, 2017). Disponível em <http://dx.doi.org/10.15536/thema.14.2017.268-288.404>. Acesso em 14 jan. 2019

2.5.5 Ensino por Competências

Competências e habilidades têm uma diferença fundamental. Enquanto que as habilidades de uma pessoa podem ser descritas como as capacidades que ela adquire para desempenhar determinada função ou realizar determinada tarefa, a competência tem um papel mais amplo, e trata da coordenação das habilidades dessa pessoa com seus conhecimentos e suas atitudes (GARCIA, 2005). Uma competência é mais do que apenas conhecimento e habilidades. Envolve a capacidade de atender demandas complexas, recorrendo e mobilizando recursos. As competências, portanto, podem incorporar uma habilidade, mas são mais do que apenas ela (CRUZ, 2010).

As habilidades e competências devem ser consideradas como objetivos em si, assim como se faz com a leitura e a escrita. O conteúdo das diferentes disciplinas é o principal instrumento para o desenvolvimento dessas habilidades, portanto, elas estão vinculadas a um conteúdo programático, porém o foco será diferente com o professor, entendendo que a habilidade e o conteúdo serão desenvolvidos simultaneamente (GARCIA, 2005).

A educação por competências assume que os conteúdos das disciplinas fazem sentido para os alunos, ou seja, que as situações apresentadas tenham relação com a prática vivenciada pelos alunos. A escola deve assumir valores que estimulem a autonomia dos alunos; oriente para o respeito a si mesmo e aos demais, sendo o papel dos educadores desenvolver e estimular essas capacidades (BRESOLIN, FREIRE, *et al.*, 2018).

“Ao direcionar o foco do processo de ensino e aprendizagem para o desenvolvimento de habilidades e competências, devemos ressaltar que essas necessitam ser vistas, em si, como objetivos de ensino. Ou seja, é preciso que a escola inclua entre as suas responsabilidades a de ensinar a comparar, classificar, analisar, discutir, descrever, opinar, julgar, fazer generalizações, analogias, diagnósticos[...]” (GARCIA 2005, p. 3).

Desenvolver um ensino por competências e habilidades implica numa mudança de postura da escola e requer um trabalho pedagógico integrado em que se definam as responsabilidades de cada professor. Como as tarefas são interligadas, o mesmo deverá ocorrer com o conteúdo, assim um professor terá necessariamente que conhecer o que será desenvolvido pelo outro, logo, reuniões pedagógicas frequentes são necessárias (GARCIA, 2005).

Outro problema encontrado será como avaliar os alunos. Pode-se supor uma avaliação por competências como sendo um processo contínuo, com o objetivo de analisar resultados de desempenho para verificar se determinada competência foi adquirida durante o processo de aprendizagem, evidenciando a capacidade do aluno de articular com autonomia, postura crítica, ética e inovadora, utilizando conhecimentos, qualidades pessoais e valores para solucionar problemas de determinadas situações concretas e reais. Assim, se cobrado do aluno uma determinada habilidade, qual será o valor desse item no cálculo de sua avaliação, e quem será o responsável por fazer essa avaliação? Essa e outras questões relativas à avaliação precisam ser respondidas antes de começar um projeto de transformação do ensino tradicional por um ensino por competências (GARCIA, 2005).

Pode-se dizer que a competência de um aluno poderá ser avaliada pelo aprendizado baseado em três dimensões:

- i) Conhecimento – Conjunto de saberes adquirido por métodos de aprendizagem pedagógicos sobre determinado assunto. Se adquire através

do estudo. É o conjunto de informação armazenada por intermédio da experiência ou da aprendizagem.

- ii) Habilidade – Desenvoltura física, psicomotora, emocional, racional e mental para a realização de uma atividade. Habilidade se adquire através da prática e repetição. Uma habilidade é uma capacidade aprendida, por meio de treinamento ou experiências, para obter um resultado desejado ou realizar funções de trabalho. Ela é adquirida através de um esforço para realizar atividades ou funções envolvendo ideias (habilidades cognitivas), coisas (habilidades técnicas) ou pessoas (habilidades interpessoais).
- iii) Atitude – Meios de ação da expressão comportamental. Faz referência à forma de agir do aluno perante situações problemas e ao trabalho em grupo. Na pedagogia, podemos dizer que a atitude é uma disposição implícita que contribui para determinar o comportamento do indivíduo em relação a um objeto ou a uma classe de objetos e que inclui a afirmação de convicções e de sentimentos a seu respeito e a respeito de ações de atração ou de rejeição. A formação de atitudes consideradas favoráveis ao equilíbrio do indivíduo e ao desenvolvimento da sociedade é um dos objetivos da educação (FLEURY e FLEURY, 2001).

2.5.6 Aplicação de atividades práticas no auxílio da capacitação

Estudos apresentam as vantagens do aprendizado unindo a teoria com a prática, simulando em laboratórios experimentos que comprovam a teoria desenvolvida em sala de aula, ou desenvolvendo novos experimentos, dentre todos os citados destaque para a robótica educativa (BENITTI, VAHLICK, *et al.*, 2009).

Com a aplicação de uma metodologia ativa no ensino tecnológico, o aprendizado também ganha novas concepções e formas, e o processo de ensino-aprendizagem se dinamiza. Percebe-se que os alunos passam a ter uma atuação mais criativa, sendo capazes de desenvolver outras soluções para os problemas propostos. O papel do professor como mediador é fundamental e deve ser pautado no pensamento crítico e criativo, assim como no desenvolvimento da capacidade de organizar informações e construir significados. Os alunos apresentam prazer em frequentar as aulas e têm curiosidade para aprender coisas novas, em entender como as coisas funcionam pesquisando, mesmo extra sala, assuntos que podem ser

desenvolvidos nas aulas práticas de laboratório. Um exemplo que pode ser citado, são os projetos de ensino com o uso de *kits* de robótica, que tornam as aulas mais lúdicas e envolventes, apresentando conceitos de física, matemática, engenharia, eletrônica, informática, lógica etc. As intervenções do professor e a abordagem desses conteúdos em outras disciplinas como história, geografia e português também foram observadas e consideradas pedagogicamente válidas para tornar as aulas mais instigantes e envolventes (MIRANDA e SUANNO, 2009).

Destaca-se como fatores limitadores, à aplicação de laboratórios como apoio ao ensino, os seguintes itens: i) falta de professores preparados; ii) alto custo de implantação de laboratórios; iii) superlotação das salas de aula, reduzindo a eficácia das aulas práticas; iv) falta de apoio governamental para implantação dessa atividade; v) parte dos equipamentos disponíveis para implantação de laboratórios de ensino serem importadas dificultando sua aquisição; vi) poucos fornecedores de equipamentos para implantação de laboratórios didáticos (CAMPOS, 2011; MIRANDA e SUANNO, 2009).

2.5.7 Aplicação da robótica como meio auxiliar de ensino

Acredita-se no potencial da robótica como uma possível estratégia permanente e abrangente de aprendizagem interdisciplinar, possibilitando a interação entre várias áreas do conhecimento e, em vários níveis de ensino, no qual possam ser envolvidos vários conceitos e situações do cotidiano do aluno (BRANCO, GOMES e SOUZA, 2016). O objetivo é de se dar ao aluno a possibilidade de desenvolver seu próprio projeto, ficando o mesmo à vontade para fazer novos projetos com novas soluções, passando os docentes a ter um papel de ajudar os alunos na busca pelas soluções e não de direcionar sobre o que deve ser feito (CAMPOS, 2011). Observa-se que a construção do robô desperta o interesse pelo conteúdo, principalmente por ser novidade. Concluindo-se que a junção de componentes eletrônicos, criando um robô auxilia na aquisição de conhecimentos científicos de forma eficaz e significativa (BENITTI, VAHLICK, *et al.*, 2009).

Num projeto de educação com robótica ou outra ferramenta tecnológica, é muito importante que os docentes sejam os primeiros a serem treinados, portanto, devem ser os primeiros a ter contato com os laboratórios e de se envolver com as tecnologias a serem desenvolvidas em sala de aula (CAMPOS, 2011).

As possibilidades, que a experimentação tecnológica pode abrir para um estudante, estão muito além de um jogo dentro de uma sala de aula, para estimular o aprendizado. Wagner (2009) apresenta 7 habilidades para sobrevivência no mercado de trabalho no século XXI: i) Pensamento crítico e solução de problemas, ii) Colaboração, iii) Agilidade e Adaptabilidade, iv) Iniciativa e empreendedorismo, v) Comunicação oral e escrita eficaz, vi) Acesso e análise de informações, vii) Curiosidade e imaginação (WAGNER, 2009).

Além disso, mesmo que no futuro os humanos não sejam substituídos por um robô, é quase certo que sejam auxiliados por um, e acrescenta Wing (2008) que uma outra habilidade, conhecida como Pensamento Computacional, poderá ser essencial.

“O pensamento computacional é um tipo de pensamento analítico. Compartilha com o pensamento matemático das maneiras gerais pelas quais podemos abordar a solução de um problema. Compartilha com o pensamento de engenharia as maneiras gerais pelas quais podemos abordar o projeto e a avaliação de um sistema grande e complexo que opera dentro das restrições do mundo real. Compartilha com o pensamento científico as maneiras gerais pelas quais podemos abordar a compreensão da computabilidade, da inteligência, da mente e do comportamento humano.” (WING, 2008, p. 3717).

Segundo este conceito, a resolução de um problema passa por três etapas: i) formulação do problema (abstração), ii) expressão de uma solução (automação), iii) execução da solução e validação dos resultados (análise), realizadas de forma interativa até que o resultado desejado seja alcançado. Este fluxo de operações é similar ao utilizado no desenvolvimento de um software, e por isso, a programação de computadores é frequentemente utilizada como uma introdução ao Pensamento Computacional. Isso não significa que todo profissional do futuro será um programador, apenas que a capacidade de pensar como um será um diferencial (WING, 2008).

Acredita-se que muito em breve o ensino da robótica nas escolas não será uma opção, mas sim uma necessidade para que as novas gerações possam entender e conviver com a tecnologia no cotidiano. A criação de novos equipamentos automáticos, novas tecnologias de comunicação, integração entre sistemas, celulares com maiores capacidades, e principalmente uma maneira nova de interagir com esses equipamentos, reconhecimento facial, por voz, por biometria, serão atributos comuns nos nossos equipamentos. Por exemplo, casas inteligentes, em que o controle é feito de forma autônoma, buscando economia de energia. Existe um novo mundo

tecnológico e a robótica faz parte dele, os robôs passam a fazer parte da vida do século XXI, como os automóveis, a televisão e os computadores o fizeram no século XX (KYNIGOS, 2008).

“A robótica é parte integrante da tecnologia. As formas pelas quais os seres humanos controlam as máquinas, as interfaces através das quais eles controlam [...] O número e a variedade de máquinas automatizadas que controlamos em nossas vidas cotidianas está aumentando continuamente e rapidamente [...] Nós interagimos com elas o tempo todo, mas temos pouca ideia de como eles funcionam [...] (KYNIGOS 2008, p. 3).

Segue Kynigos (2008) afirmando que robôs e o ensino da robótica não são uma ficção, mas uma realidade, mas não basta ter laboratórios equipados ou mesmo kits de montagem, se não existir um planejamento de qualificação de professores e um roteiro a ser seguido para ensino dos alunos. O envolvimento de professores e alunos tem que ser gradual e progressivo, iniciando com os conceitos básicos de mecânica e mecanismos, passando pela automação desses mecanismos e finalizando com os robôs.

Projetos estão em desenvolvimento visando atender a demanda desse novo profissional e também desse novo aluno. Algumas instituições já começam a preparar o novo cenário da educação, exemplos de transformações que escolas estão promovendo e projetos que estão se desenvolvendo dentro da Educação 4.0 são apresentados no APÊNDICE A.

2.5.8 Consequências da Quarta Revolução Industrial no ensino.

Ainda não é possível vislumbrar todas as consequências dessa transformação, porém pelo que surge até agora, é certo que terá impactos na nossa forma de enxergar e utilizar as tecnologias. Um item importante, e citado em trabalhos elaborados por pesquisadores e analistas, como os apresentados por Costin e colegas, na Revista Diálogos Estratégicos, trata da evolução, ou poder-se-ia dizer até revolução, dos empregos e das profissões. Novas tecnologias implicam em novas necessidades de conhecimentos, que requerem novas capacitações e conseqüentemente novas profissões acabem surgindo a cada instante (COSTIN, 2018; CASTRO, 2018; ESTEVÃO, 2018; MENEZES FILHO).

Caberá as instituições de ensino, principalmente as de ensino técnico e tecnológico, a preparação dessa mão de obra, e para tanto deverão se adequar para

tal tarefa. A forma de ensino deverá mudar também, de um ensino tradicional conteudista para um ensino baseado em competências e habilidades, como o ensino por metodologias ativas. Essa consequência talvez possa ser considerado o principal obstáculo a ser vencido pelos governos, como acompanhar a necessidade de novas profissões e como preparar o profissional do futuro? (SCHWAB, 2016; SCHWAB, 2018)

2.5.9 Preparação dessa nova mão de obra

Para se ter um crescimento inclusivo, com aproveitamento dos jovens que estão entrando no mercado de trabalho e da mão de obra já existente, é fundamental o investimento na capacitação dos jovens e trabalhadores. Na nova era que se avizinha, onde a economia é cada vez mais globalizada e baseada no conhecimento, qualquer estratégia de crescimento tem que passar pelo investimento no capital humano.

As novas aplicações das tecnologias existentes, em conjunto com as que estão sendo desenvolvidas a todo momento, exigem que se criem novas competências e habilidades para os trabalhadores. Assim, como na Primeira Revolução Industrial, necessitava-se de trabalhadores com conhecimentos básicos de mecânica; nesta Quarta Revolução Industrial, serão necessários trabalhadores com conhecimentos e habilidades em internet, eletrônica além da mecânica de precisão e aptos a interagir com as inovações tecnológicas nas áreas de automação e tecnologia de informação, aplicadas aos processos industriais.

Tornar mais eficiente, autônomos e customizáveis os processos de manufaturas por meio de sistemas ciber-físicos, internet e de serviços são metas a serem percorridas pelas indústrias (CASTRO, 2018).

Conforme Castro (2018, p. 57-58) em seu artigo “*O futuro da educação na indústria 4.0*”, “[...] algumas profissões desaparecerão, outras deverão se adaptar ao novo mercado e surgirão novas profissões não previstas [...]”, então fica o dilema de como preparar novos profissionais, dotados das competências e habilidades necessárias para se adequar a essas novas exigências. “O grande desafio está na formação do jovem que enfrentará essas mudanças de grande magnitude para sua inserção ativa e responsável num mundo cada vez mais complexo” continua Castro.

Por outro lado, percebe-se a urgência de estabelecer uma política de formação da mão de obra no Brasil, a profissão de roboticista, que é uma realidade em países desenvolvidos, é muito pouco conhecida em nosso meio, pesquisa do IPEA divulgada no jornal O Estado de São Paulo apresenta essa situação:

“A pesquisa Tecnologias Digitais, Habilidades Ocupacionais e Emprego Formal no Brasil, realizada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), revela que o mercado de trabalho no País está perigosamente estagnado em relação às transformações da chamada quarta revolução industrial.” (ESTADÃO, 2019).

Se nas revoluções industriais anteriores, as ocupações afetadas pela automatização se concentravam na linha de produção e nas camadas gerenciais intermediárias, nesta nova revolução industrial, os impactos se dão nas atividades altamente especializadas, algoritmos capazes de decodificar imensas bases de dados e reproduzir padrões complexos podem substituir decisões em atividades nas áreas de advocacia, medicina e engenharia, entre tantas outras (MACIENTE, RAUEN e KUBOTA, 2019).

Ocupações, que envolvem habilidades físicas, já são motivo de substituição por robôs, como classificação e triagem de objetos, controle de estoque e operação de máquinas e sistema automatizados, tendem a perder rapidamente o seu valor. Por outro lado, atividades que utilizem de habilidades cognitivas, como as que envolvem o trato e contato humano, tendem a ter um maior valor no futuro (MACIENTE, RAUEN e KUBOTA, 2019).

Uma pesquisa realizada no Brasil pelo Ipea mostra que de 16 tipos de habilidades nos empregos disponíveis houve uma queda na demanda por habilidades visuais e operacionais; habilidades que envolvem equilíbrio e força corporais; habilidades em saúde e medicina; e também em design e engenharia. Isso ocorreu em razão da contração das indústrias de transformação, extração e construção, e, em menor escala, do setor de saúde. Por outro lado, aumentou ligeiramente a demanda por habilidades cognitivas, gerenciais e de vendas, para abastecer campos como informação e comunicação; cultura e recreação; serviços sociais; agropecuária; administração pública e privada; e atividades científicas e técnicas. (ESTADÃO, 2019; MACIENTE, RAUEN e KUBOTA, 2019)

Na medida em que várias áreas de atuação profissional estão saturadas, surge um novo mercado, como o de roboticistas, uma nova profissão que pode ser definida como “[...] o profissional que realiza configuração, programação, manutenção, startup e reprogramação de robôs industriais.” (CATHO 2019, p. 1). Apesar dessa profissão ainda não está regulamentada no Brasil, não faltam oportunidades de emprego para quem sabe programar e operar robôs industriais, e a carreira permite rápida ascensão profissional, em especial no setor automotivo e alimentício. O seu uso nos processos de produção é uma tendência mundial (BELO e PIRES, 2018).

“Há uma dificuldade no mercado, com isso foi preciso pegar um profissional mais cru e treinar na própria fábrica para não faltar pessoal. Tem oportunidades de emprego, mas tem de ter qualificação. E dentro dos profissionais da indústria na área de software, mecânicos e eletricitas, o roboticista tende a ser o mais bem remunerado.” (BELO e PIRES, 2018, p. 1).

Pesquisadores apontam algumas diretrizes para enfrentar os desafios da Quarta Revolução Industrial, iniciando pelo aprimoramento dos sistemas de educação, com foco no ensino de competências e habilidades de valor cognitivo e analítico. Na sequência, a criação de um sistema de informações ocupacionais, para possibilitar a recolocação e treinamento profissional (ESTADÃO, 2019; MACIENTE, RAUEN e KUBOTA 2019). Essa nova escola tende a surgir, fazendo com que o aluno aprenda a aprender, desenvolvendo as competências e habilidades, preparando-o para lidar com as novas tecnologias e os desafios do mundo do trabalho.

Como agir num cenário de mudanças em velocidades nunca antes experimentadas, esse é um dos desafios da nova escola. No Brasil, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e a Reforma do Ensino Médio, ambas ocorridas em 2017, têm por objetivo assegurar a todos os alunos as aprendizagens essenciais com a flexibilização do Ensino Médio, permitindo uma formação mais alinhada com esses novos desafios e permitindo que os estudantes escolham itinerários formativos de acordo com seus interesses (CASTRO 2018).

Conforme cita Morgado (apud BELO e PIRES 2018, p. 1) “O modo de produção industrial está passando por uma revolução, e as mudanças devem estender-se às salas de aulas”. Novas tecnologias, aprendizagem adaptativa e inteligência artificial, devem ser introduzidas no currículo das escolas para promover as interações de ensino e mediar a aprendizagem de acordo com a necessidades do mercado de trabalho. A discussão não deve ser somente sobre as profissões que deixarão de

existir, mas como preparar a mão de obra para as profissões relacionadas à robótica autônoma. Qual a melhor maneira de transmitir os conhecimentos as capacitações e prover as habilidades necessárias a esse jovem trabalhador? Segundo a Federação Industrial de Robótica, no mundo 15,7 milhões de trabalhadores serão afetados pela automação até 2030.

“Neste contexto, a educação no Brasil deve não apenas melhorar a qualidade no desenvolvimento de competências já demandadas pelo mundo do trabalho, mas preparar a futura geração de adultos para resolução colaborativa de problemas, pensamento crítico, flexibilidade e adaptabilidade, criatividade, experimentação e abertura a novas experiências, as chamadas competências do século XXI.” (COSTIN 2018, p.55).

3 MATERIAL E METODO

Para melhor entender essa Quarta Revolução Industrial e seu impacto na vida das pessoas, foi realizada uma análise das três revoluções anteriores, o que elas representaram em tecnologias desenvolvidas e porque foram chamadas de revoluções industriais.

Inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica, na literatura sobre a evolução tecnológica e social, ocorrida em função das denominadas revoluções industriais dos séculos XIX e XX. Na sequência o estudo sobre a atuação da robótica industrial na Terceira Revolução Industrial, desde a criação do termo robô até a implantação dos primeiros robôs nas indústrias.

Uma visão da Quarta Revolução Industrial a partir do conceito Indústria 4.0 criado na Alemanha no ano 2011, bem como a importância da robótica dentro desse contexto e uma análise de algumas competências e habilidades desse momento é apresentada, e a apresentação da didática, através das revoluções industriais, até a aplicação da robótica como componente auxiliar de ensino e a formação do profissional roboticista.

Na sequência, foi realizada uma pesquisa exploratória de caráter qualitativo, de cursos ou disciplinas⁷ de robótica apresentados por instituições de ensino superior, em níveis de graduação e pós-graduação, realizada através de uma busca em sites de Universidades e Instituições de Ensino Superior, utilizando para consulta, os termos: *robótica*, *curso de robótica*, *laboratório de robótica*, *engenharia de robótica* e *engenharia de robôs*.

A fase inicial do projeto consistiu em uma pesquisa bibliográfica das revoluções industriais, com destaque para algumas tecnologias nelas desenvolvidas e que tiveram relevância no desenvolvimento industrial e principalmente na evolução dos robôs industriais.

Ainda sob essa perspectiva, identificaram-se os robôs industriais aplicados na Terceira Revolução Industrial. Atuando, inicialmente, em ambientes estruturados e semiestruturados, e o seu desenvolvimento até os autônomos. A robótica em

⁷ Para facilitar a leitura deste trabalho se irá utilizar o termo “curso” para designar também as disciplinas oferecidas aos alunos de graduação e pós-graduação.

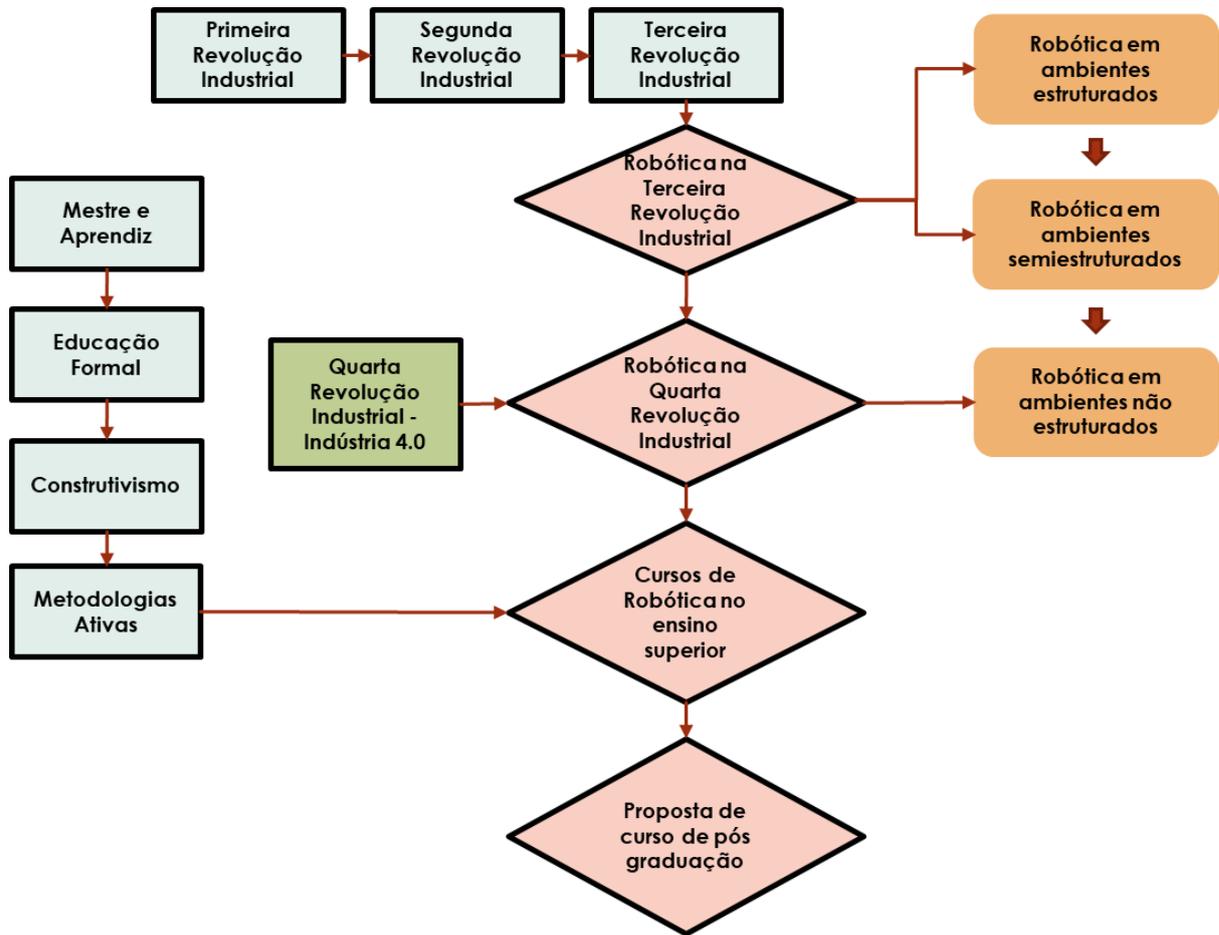
ambientes não estruturados é apresentada como um dos pilares da Quarta Revolução Industrial.

Buscou-se verificar também as tecnologias, capacitações e habilidades necessárias para o profissional roboticista atuar com a robótica industrial. Foi importante conhecer a evolução da didática através do período da Primeira Revolução Industrial até o momento atual, verificando algumas metodologias que podem ser aplicadas para a formação desse profissional.

Finalizando, apresenta-se uma análise do que está sendo aplicado nas Instituições de Ensino e nas Universidades para o ensino da robótica; a partir desta, sugerem-se as matérias e componentes curriculares que podem compor um curso, voltado para a robótica autônoma da Quarta Revolução Industrial.

A figura 18 apresenta um fluxograma com o desenvolvimento do trabalho, iniciando pela análise das quatro revoluções industriais, a evolução dos robôs industriais na Terceira Revolução Industrial, a robótica autônoma da Quarta Revolução Industrial, a identificação das Tecnologias, Competência e Habilidades envolvidas e a análise dos cursos pesquisados. Encerra-se, pois, com uma sugestão de conteúdo para um curso de pós-graduação de robótica autônoma.

Figura 18 - Fluxograma do trabalho



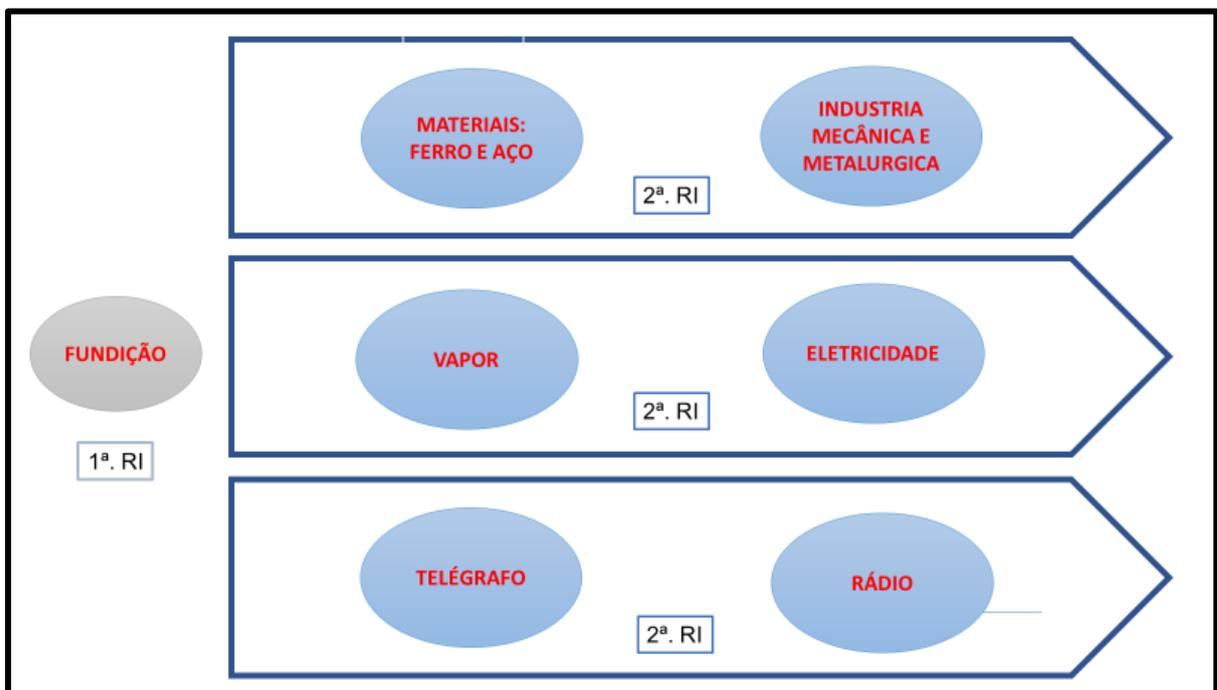
Fonte: Elaboração própria

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Tecnologias relacionadas as revoluções industriais

Analisando-se as tecnologias desenvolvidas e utilizadas, durante as revoluções industriais, verificou-se uma evolução a partir da arte da fundição até chegar aos dias atuais. Na figura 19 estão sintetizadas as principais tecnologias que deram impulso à industrialização, e formaram a base para desenvolvimento da primeira onda de robôs industriais.

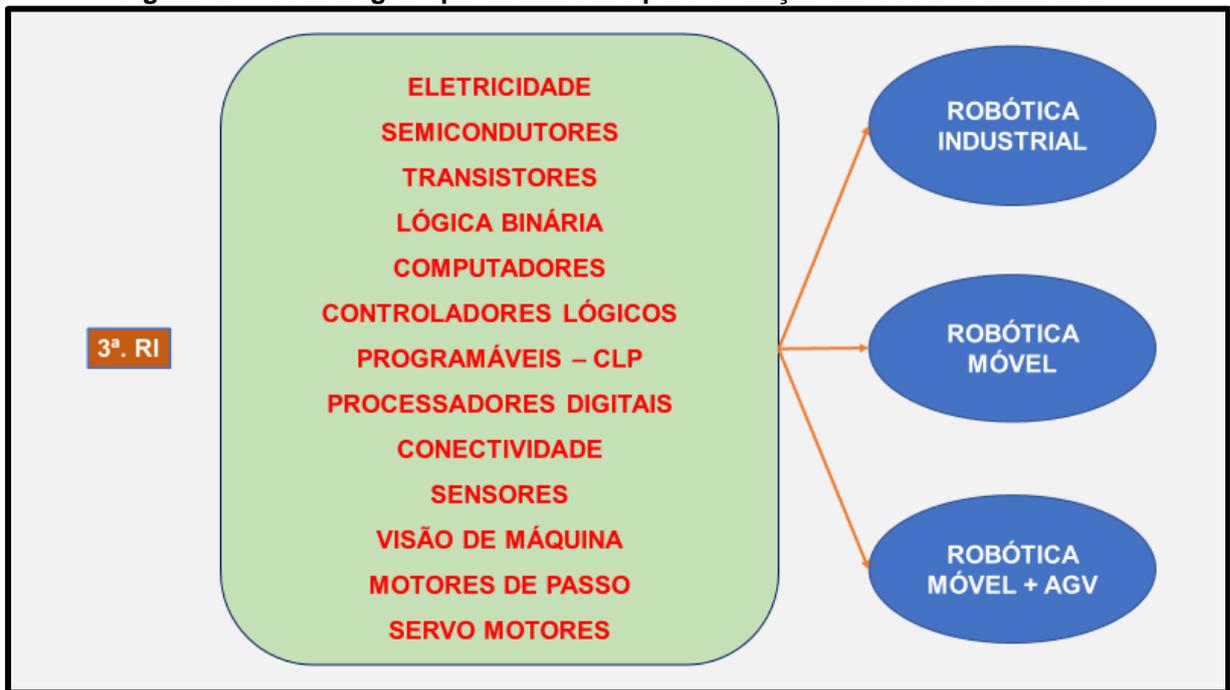
Figura 19 - Tecnologias da 1a. e da 2a. Revolução Industrial



Fonte: Elaboração própria.

A partir da segunda metade do século XX tem início a aplicação da robótica nas indústrias. A viabilização do projeto, construção e operação de um robô industrial, é possível com a integração das tecnologias desenvolvidas na segunda revolução industrial acrescida de tecnologias desenvolvidas a partir da terceira revolução industrial, conforme apresentado na figura 20.

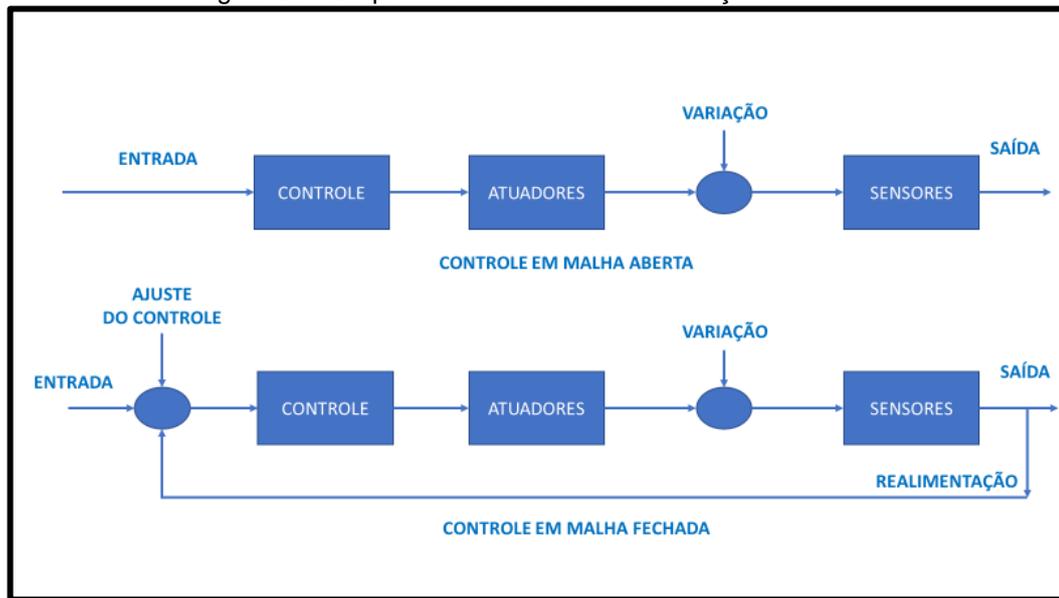
Figura 20 – Tecnologias que deram base para a criação da robótica industrial



Fonte: Elaboração própria.

Existindo a possibilidade de verificação do ambiente em que estão atuando, os robôs passam a ter informações que permitem ajustes em sua programação, seja para acertar a qualidade, a precisão ou mesmo para interagir com o meio. Nesse caso, eles passam a atuar com controle em malha fechada, onde informações sobre a evolução das saídas servem para realimentar o sistema e permitir ajustes. Essa é a base de toda robótica autônoma (COSTA e OKAMOTO JR, 2002; SCHWAB, 2016). Na figura 21 pode-se ver um esquema de como funcionam os sistemas de controles em malha aberta e malha fechada.

Figura 21 - Esquema de controle de automação industrial



Fonte: Elaboração própria adaptado de (COSTA e OKAMOTO JR, 2002; ROMANO e DUTRA, 2002)

4.2 Tecnologias relacionadas à robótica Industrial.

Neste item, são relacionadas as tecnologias associadas à robótica, citadas nos principais livros e utilizados nos cursos pesquisados.

4.2.1 Robótica na Terceira Revolução Industrial

Para responder à pergunta: “Quais os tópicos da robótica que foram abordados na Terceira Revolução Industrial?”, Procurou-se informação em livros referência no assunto, escritos nesse período; foram analisados quatro livros, que tiveram suas primeiras edições na década de 1980/90. A figura 22 apresenta os capítulos e os tópicos abordados nos livros: *Robótica, Tecnologia e Programação*, GROOVER, WEISS, et al., 1988; *Introduction to Robotics*, CRAIG, 1986; *Robotics, Control, Sensing, Vision and Intelligence*, FU, GONZALES e LEE, 1987 e *Robots and Manufacturing Automation*, ASFAHL, primeira edição 1985.

Figura 22 – Tópicos abordados em livros de Robótica apresentados na Terceira Revolução Industrial.

	GROOVER 1986 1a edição	CRAIG 1986 1a edição	FU 1987	ASFAHL 1985
Automação				
História da Robótica				
Aplicação da Robótica				
Configurações Robô Industrial				
Sensores				
Sistemas de Controle				
Cinemática				
Dinâmica				
Elementos Terminais				
Visão de Máquina				
Programação				
Linguagens de Programação				
Jacobianos				
Projeto Mecanismos				
Controles dos Manipuladores				
Planejamento de Trajetórias				

Fonte: Elaboração Própria

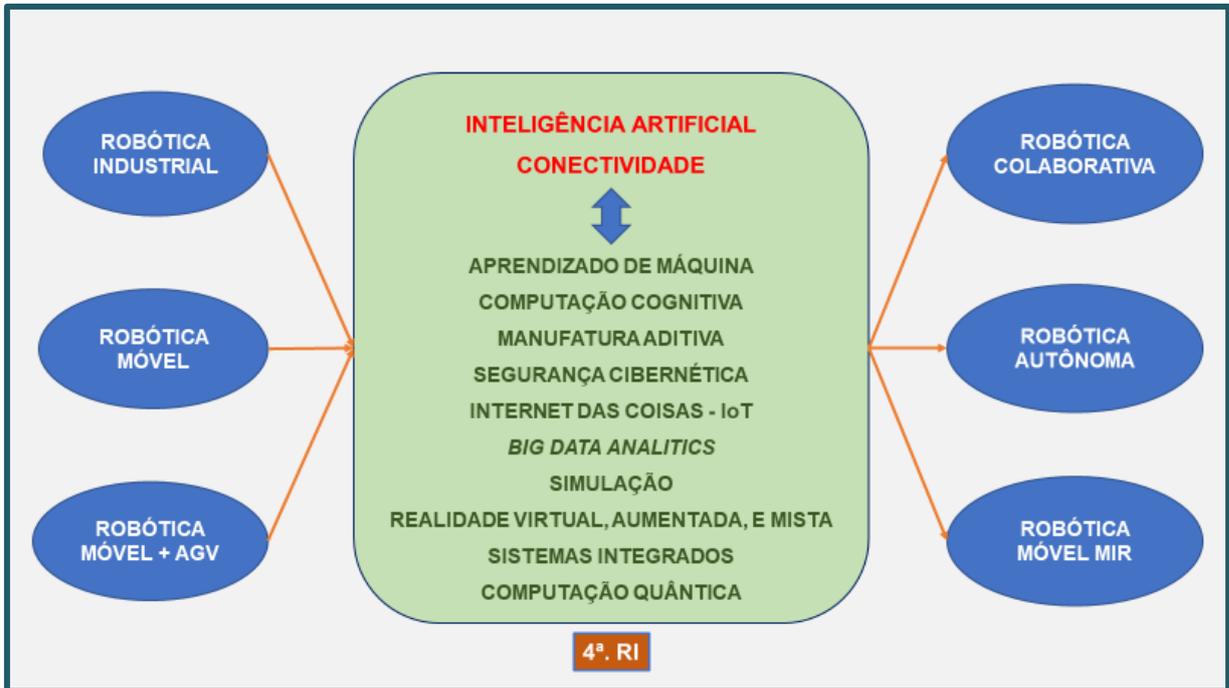
Para a classificação de um curso dentro desse momento, foi realizado o cruzamento das informações contidas na sua descrição com os tópicos listados acima, propõe-se que tenham a maior parte de sua abordagem dentro deles. Numa análise comparativa com o apresentado nos livros, e nos pilares da Quarta Revolução Industrial, foi possível identificar quais estão mais sintonizados com a robótica autônoma.

4.2.2 Robótica na Quarta Revolução Industrial

Na Quarta Revolução Industrial tem-se os robôs autônomos, descritos por Schwab (2016), como um dos pilares da Indústria 4.0. Afirma ainda que a Conectividade e a Inteligência Artificial são tecnologias chaves que permitem a criação dessa nova robótica e estão no primeiro plano dos estudos.

Para uma robótica autônoma outras tecnologias desenvolvidas ou em desenvolvimento na quarta revolução industrial são aplicadas. Na figura 23 apresenta-se uma relação destas.

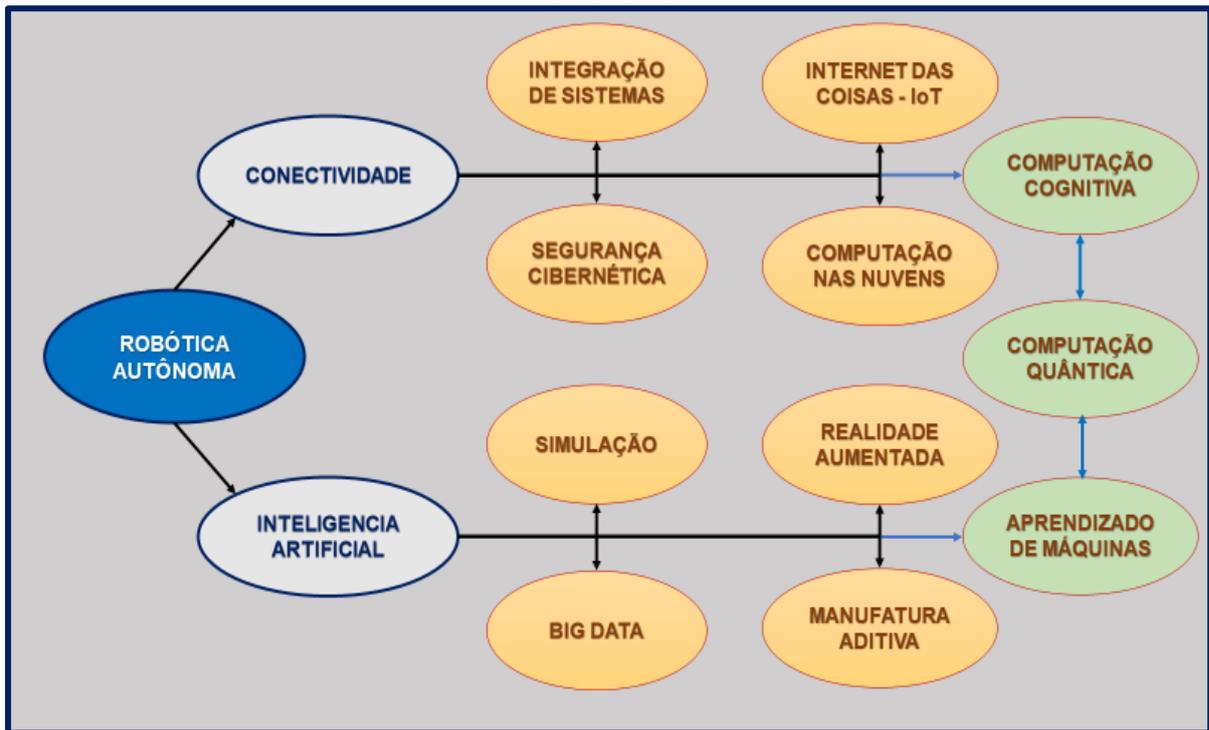
Figura 23 – Tecnologias que implementam e dão suporte à robótica da Quarta Revolução Industrial



Fonte: Elaboração própria.

Com base nessa abordagem, propõe-se uma visão diferente dos pilares da Indústria 4.0, como pode ser visto na figura 24, com a incorporação de três itens, importantes para a robótica autônoma, que são Computação Cognitiva, Computação Quântica e Aprendizado de Máquina.

Figura 24 – Proposta desdobramento dos pilares da indústria 4.0, para atuação na robótica autônoma



Fonte: Elaboração própria, adaptado de Lorenz, 2015

A ramificação mostrada separa-as em dois grupos afins, mas observa-se uma ligação da Conectividade com alguns dos pilares Integração de Sistemas, Internet das Coisas, Segurança Cibernética, Computação nas Nuvens, e a Computação Cognitiva; e da Inteligência Artificial com a Manufatura Aditiva, Realidade Aumentada, Big Data, Simulação e Aprendizado de Máquina.

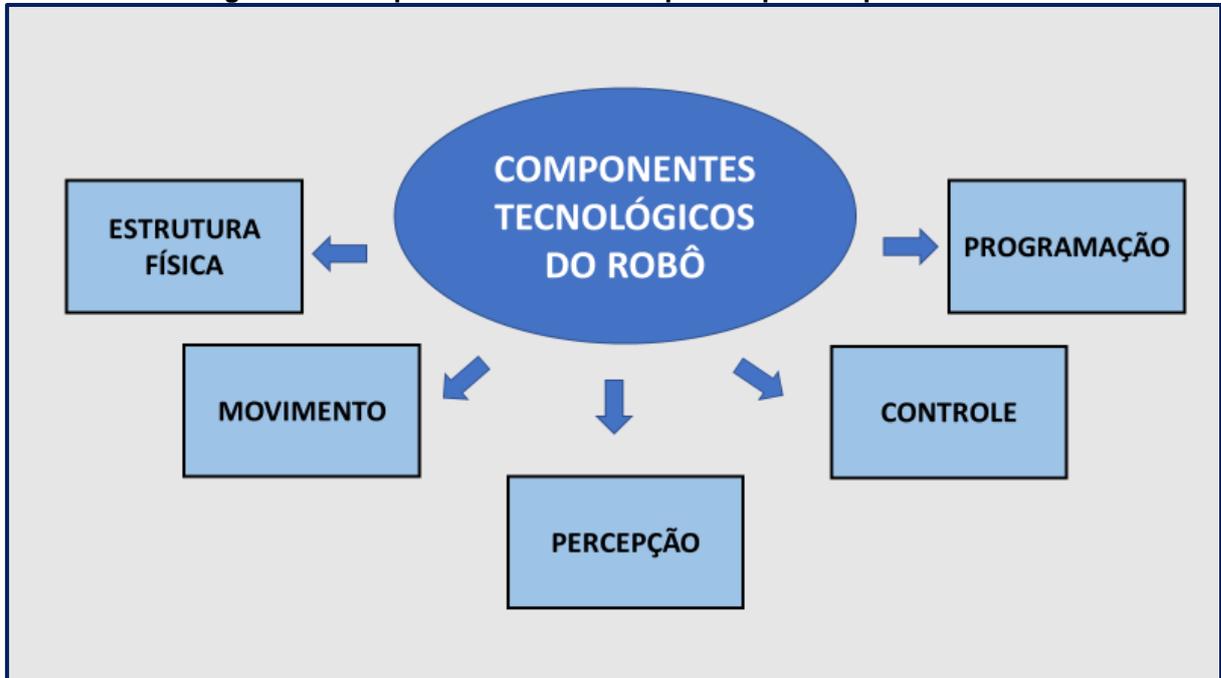
. Embora o Aprendizado em Máquinas seja um subconjunto dos métodos e técnicas da Inteligência Artificial, ele pode ser considerado como um conjunto de tecnologias mais ou menos autônomas, atuando na análise da enorme quantidade de dados gerada em decorrência do estabelecimento pleno da 4ª RI.

4.2.3 Componentes Tecnológicos de um Robô.

No cruzamento dos dados obtidos a partir da descrição dos cursos, não ficou suficientemente clara a divisão dos tópicos para a classificação da robótica efetivamente envolvida no curso pesquisado; então, foi proposta a divisão dos tópicos dos cursos em cinco componentes tecnológicos de um robô: Estrutura Física, Movimento, Percepção, Controle e Programação, conforme esquematizado na figura 25. Isso visou facilitar a análise comparativa dos diversos tópicos e componentes dos

cursos com as tecnologias, envolvidas nas revoluções industriais, e permitir uma classificação mais segura de cada curso dentro da 3ª ou 4ª RI.

Figura 25 – Proposta de divisão das partes que compõe um robô



Fonte: Elaboração própria

4.3 Cursos de robótica pesquisados

Para seleção das Universidades, foram utilizados os sites “As Melhores Universidades de Engenharia e Tecnologia do Mundo” (PROFCARDY, 2020), e “Melhores Cursos de Engenharia do Brasil, segundo o MEC” (QUEROBOLSA, 2018). As Instituições escolhidas estão relacionadas na figura 26. Destas, foram selecionados 50 cursos.

Figura 26 – Universidades e Instituições de Ensino pesquisadas.

UNIVERSIDADES E INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR
CARNEGIE MELLON UNIVERSITY
CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI
COLUMBIA
ECE ILLINOIS
FIAP - FACULDADE DE INFORMÁTICA E ADMINISTRAÇÃO PAULISTA
GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY
HAVARD UNIVERSITY
INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA
ITMO UNIVERSITY
MIT - MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY
TOHOKE UNIVERSITY
UNIVERSIDADE DE PADUA
UNIVERSITY OF CALIFORNIA AT BERKELEY
UNIVERSITY OF MICHIGAN
UNIVERSITY OF OXFORD
UNIVERSITY OF TEXAS
UNIVERSITY OF TORONTO
VIRGINIA TECH

Fonte: Elaboração própria

Para cada item pesquisado, foi montada uma ficha com as informações mais relevantes ao estudo, conforme modelo apresentado na figura 27. As 50 fichas estão disponíveis para consulta no APÊNDICE B.

Figura 27 – Modelo de ficha dos cursos pesquisados

CURSO 1	
UNIVERSIDADE	MIT - Massachusetts Institute of Technology
LOCAL	CAMBRIDGE - USA
ÁREA/DIVISÃO	Escola de Engenharia
SITE	https://engineering.mit.edu/
CURSO	Introdução à Robótica
FONTE	https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-12-introduction-to-robotics-fall-2005/
COURSE LEVEL	Graduação
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Este curso fornece uma visão geral dos mecanismos do robô; dinâmica; controles inteligentes. Os tópicos incluem cinemática planar e espacial; planejamento de movimento; projeto de mecanismos para manipuladores e robôs móveis; dinâmica de corpos rígidos; simulação gráfica em 3D; projeto de controle, atuadores e sensores; rede sem fio; modelagem de tarefas; interface homem-máquina; e software incorporado. Os laboratórios semanais fornecem experiência com servoconversores; controle em tempo real; e software incorporado. Os alunos projetarão e fabricarão sistemas robóticos em um projeto baseado em grupo.

Dados para elaboração das fichas foram obtidos nos endereços da internet dos cursos (fonte) e das Universidades e Instituições de Ensino pesquisadas (site). Os endereços estão descritos nas fichas.

Fonte: Elaboração própria, dados obtidos nos sites

A partir das informações contidas nas fichas dos cursos foi elaborado o quadro apresentado na figura 28. O primeiro item relacionado foi a Instituição e o departamento onde ele é oferecido, juntamente com a cidade e país, e o endereço do site na internet. Em seguida, o título e a identificação do nível de estudantes a que se destina, distinguindo-os em cursos para estudantes de graduação e cursos para estudantes de pós-graduação, podendo ser alunos de mestrado/doutorado (*stricto sensu*) ou de especialização (*lato sensu*). O resultado completo de todas as instituições pesquisadas está no apêndice C. Observou-se na descrição de vários cursos que, apesar de serem destinados a alunos de determinado nível, outros alunos podem ser aceitos a critério do professor.

Figura 28 - Exemplo do quadro dos cursos pesquisados e respectivas Universidades ou Instituições de Ensino Superior e endereço de página na internet.

MIT - MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY
<p>Introdução à Robótica Graduação https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-12-introduction-to-robotics-fall-2005/</p>
<p>Projeto de Sistemas Robóticos Eletromecânicos Graduação https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-017j-design-of-electromechanical-robotic-systems-fall-2009/</p>
<p>Robótica Graduação e Pós https://ocw.mit.edu/resources/res-9-003-brains-minds-and-machines-summer-course-summer-2015/unit-8.-robotics/</p>
<p>Robótica Cognitiva Pós-Graduação https://ocw.mit.edu/courses/aeronautics-and-astronautics/16-412j-cognitive-robotics-spring-2016/</p>
<p>Robótica Subativada (<i>Underactuated Robotics</i>) Pós-Graduação https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-832-underactuated-robotics-spring-2009/</p>

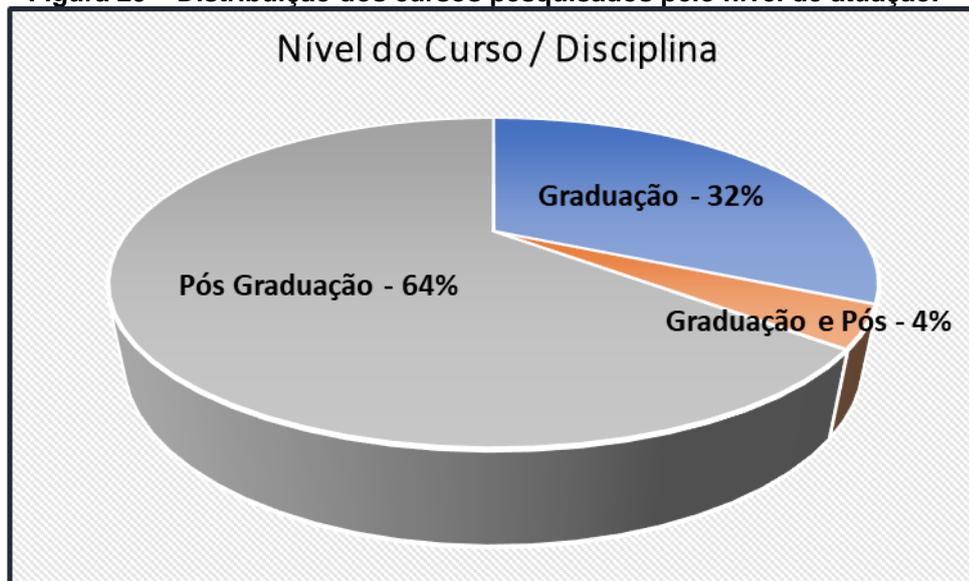
Fonte: Elaboração própria, informações obtidas nas fichas dos cursos e disciplinas pesquisados.

4.4 Análise do nível de estudantes alvo dos cursos pesquisados

Com a análise das fichas dos cursos, verifica-se a tendência maior de cursos de pós graduação 64% contra 32% para alunos de graduação, ficando 4% para alunos graduados ou não. Observou-se na descrição de vários cursos que, apesar de serem destinados a alunos de determinado nível, outros alunos podem ser aceitos a critério do professor.

A figura 29 apresenta um gráfico da distribuição dos 50 cursos de acordo com o nível acadêmico dos estudantes a que se destinam, sendo perceptível uma maior incidência de pós-graduação entre os cursos analisados.

Figura 29 – Distribuição dos cursos pesquisados pelo nível de atuação.



Fonte: Elaboração própria

Uma outra apresentação da distribuição desses cursos, de acordo com o nível a que se destinam, pode ser observada na figura 30, onde foram colocadas as instituições pesquisadas e a quantidade de curso de cada nível.

Figura 30 – Distribuição dos cursos pesquisados por Universidades e de acordo com o nível dos estudantes alvo.

CURSOS PESQUISADOS NAS UNIVERSIDADES E INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR	GRADUAÇÃO	GRADUAÇÃO E PÓS	PÓS GRADUAÇÃO	TOTAL
CARNEGIE MELLON UNIVERSITY			10	10
CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI	1			1
COLUMBIA	1			1
ECE ILLINOIS		1	2	3
FIAP - FAC. DE INFORMÁTICA E ADM. PAULISTA			1	1
GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY	3		1	4
HAVARD UNIVERSITY	2			2
INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA	1			1
ITMO UNIVERSITY			1	1
MIT - MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY	2	1	2	5
TOHOKE UNIVERSITY	1			1
UNIVERSIDADE DE PADUA			1	1
UNIVERSITY OF CALIFORNIA AT BERKELEY	3		2	5
UNIVERSITY OF MICHIGAN			4	4
UNIVERSITY OF OXFORD			1	1
UNIVERSITY OF TEXAS			5	5
UNIVERSITY OF TORONTO	1		1	2
VIRGINIA TECH	1		1	2
Total Geral	16	2	32	50

Fonte: Elaboração própria, informações obtidas nas fichas dos cursos e disciplinas pesquisados

4.5 Análise da atuação dos cursos pesquisados

As tecnologias abordadas em cada curso pesquisado, fornecem a identificação de quais são específicos para uma robótica da Terceira Revolução Industrial e quais já estão com o foco mais direcionado os robôs autônomos. Essa questão é relevante para identificar quais são as matérias abordadas pelos cursos.

Com objetivo de facilitar a análise, fez-se uma divisão dos cursos em Robótica Básica, Matemática Robótica, Robótica Avançada, Programação Robótica e Robótica Autônoma. No que se refere à Linha de Atuação de cada curso, identificou-se a sua especificidade. O resultado está apresentado na tabela da figura 31.

Na Robótica Básica se apresentam os princípios introdutórios do tema, como histórico, evolução, tipos e componentes de robôs, cinemática direta e inversa, dinâmica e sensoriamento básico, atuando principalmente em ambientes estruturados, serve de pré-requisito para os cursos subsequentes. Na Robótica Avançada se trata dos robôs atuando em ambientes semiestruturados, robôs móveis com maior flexibilidade e com maior poder de percepção. Os cursos de Matemática e Programação Robótica são específicos nesses dois temas, não abordando outros tópicos do assunto.

Já na robótica autônoma está se tratando de robôs totalmente independentes, atuando em ambientes não estruturados, com inteligência para definir rotas, programas a partir de uma dada meta a ser alcançada. A partir dessa divisão observou-se que os cursos que contemplam tópicos de Robótica Autônoma, Cognitiva e Inteligente são os que estão mais voltados para a 4ª RI.

Figura 31 – Linha de Atuação dos cursos pesquisados

	Nível de Atuação	Robótica Básica	Robótica Matemática	Robótica Avançada	Robótica Programação	Robótica Autônoma
Linha de Atuação	Controle Robótico	3		1		
	Engenharia de Controle	1		1		
	Engenharia Mecatrônica	1				
	Engenharia Robótica	1		1		
	Introdução à Robótica	8		1		
	Laboratório de Robótica	1				
	Manipulação Robótica	2				
	Matemática Robótica		2			
	Percepção na Robótica	1				
	Planejamento Robótico			1		
	Programação Robótica				1	
	Projetos de Robótica	1				
	Robótica Autônoma					8
	Robótica Cognitiva					1
	Robótica e Automação	1				
	Robótica Flexível			1		
	Robótica Geral Avançada			2		1
	Robótica Inteligente					3
	Robótica Móvel			2		
Robótica Subativada			2			
Visão Computacional			2			
	Total	20	2	14	1	13

Fonte: Elaboração própria

Com essa classificação, foi possível verificar que a maioria dos cursos estão posicionados dentro da Robótica Básica e Avançada, dos 50 cursos pesquisados somente 13 tem o foco voltado para a robótica da quarta revolução industrial. Ao analisar as matérias tratadas pelos demais 37 cursos, verifica-se serem predominantemente de itens do início do tema. É importante ressaltar que o conhecimento, obtido nesses cursos, forma a base necessária para evoluir-se para a Robótica Autônoma.

4.6 Componentes e matérias dos cursos

Foi então analisada a descrição dos cursos, conforme apresentado no site. Uma dificuldade surgiu ao tentar-se relacionar textos grandes e, muitas vezes, excessivamente descritivos. A fim de facilitar essa análise, realizou-se o desmembramento da descrição das matérias tratadas em componentes.

Estes foram classificados de acordo com a sugestão de divisão do robô em partes descrito no item 3.2.3. A partir daí, houve a separação dentro da Terceira ou da Quarta Revoluções Industriais, conforme apresentado nas figuras 32 e 33.

Na figura 32, verifica-se que as matérias descritas coincidem, em quase sua totalidade, com a tecnologia desenvolvida e utilizada na 3ª R.I.; na figura 33, as matérias coincidem com as descritas para a Robótica Autônoma.

Figura 32 – Componentes e matérias dos cursos na 3ª Revolução Industrial

Partes de um robô industrial								
		Controle		Estrutura		Movimento	Percepção	Programação
Componentes e matérias dos cursos de robótica na 3a. RI		Algoritmo	Posicionamento	Atuadores e servo	Mecatrônica	Manipulação	Sensores	Aprendizado
		Cinemática	Probabilidade	Automação	Modelagem	Mobilidade	Sensores de Força	Computação
		Dinâmica	Processos	Cadeias Rígidas	Projeto e Fabricação	Planejamento	Sensores e Visão de	Gerenciamento de Projetos
		Energia e energia	Reativo	Controladores	Redes de Comunicação	Trajectoria	Visão de Máquina	Modelagem de Tarefas
		Engenharia de Potência	Repetitivo	Dispositivos e Mecanismos	Robôs Cirurgicos			Otimização
		Estática	Robôs	Eletrônica	Robôs Móveis			Simulação
		Estatística	Segurança da Informação	Instrumentação	Robôs Subaquáticos			
		Força	Simulação	Manipuladores	Teleoperação			
		Interação Homem-	Sistemas Lineares		Redes de Automação			
		Matemática	Sistemas Robóticos					
		Navegação	Sistemas Não Lineares					

Fonte: Elaboração própria

Figura 33 – Componentes e matérias dos cursos na 4ª Revolução Industrial

	Partes de um robô industrial				
	Controle	Estrutura	Movimento	Percepção	Programação
Componentes e matérias dos cursos de robótica na 4a. RI	Algoritmo	Humanóides	Manipulação	Inteligência Artificial	Aprendizado
	Autônomos	Nanotecnologia			Cognitiva
	Integração Homem-Robô	Neurociência na Robótica			Regras e Riscos
	Inteligência Artificial	Prototipagem 3D			
	Internet das Coisas	Robôs de Serviço			
	Navegação	Robôs e Veículos Autônomos			
	Normas	Robôs Humanóides			
	Planejamento	Robôs Voadores e Drones			
	Probabilidade				
	Robótica Subativada				
	Sistemas Autônomos				

Fonte: Elaboração própria

Esse detalhamento permitiu a determinação dos cursos mais específicos da Quarta Revolução Industrial, que são os de Robótica Autônoma, Cognitiva, Geral Avançada e Inteligente. Em todos eles predomina o ensinamento dos itens relacionados a Conectividade, Inteligência Artificial e demais pilares da Indústria 4.0. Esses cursos estão listados na figura 34, com título e as respectivas Instituições de Ensino.

Figura 34 – Cursos da robótica Autônoma

Cursos com foco em Robótica Autônoma da 4a Revolução Industrial	
16-662 Autonomia do robô	CARNEGIE MELLON UNIVERSITY
CS 287: Robótica Avançada	UNIVERSITY OF CALIFORNIA AT BERKELEY
CS 309: Robótica Inteligente Autônoma (FRI I e II)	UNIVERSITY OF TEXAS
CS 395T: Robótica Inteligente	UNIVERSITY OF TEXAS
CS 7630: Robótica Autônoma	GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY
CS 7638: Inteligência Artificial em Robótica	GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY
CS393R: Robôs Autônomos	UNIVERSITY OF TEXAS
Engenharia Mecatrônica	FIAP - FACULDADE DE INFORMÁTICA E ADMINISTRAÇÃO PAULISTA
Máquinas e sistemas inteligentes autônomos	UNIVERSITY OF OXFORD
Robôs Autônomos	UNIVERSITY OF TEXAS
Robótica	MIT - MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY
Robótica Cognitiva	MIT - MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY
Sistemas de Robôs Autônomos	HAVARD UNIVERSITY

Fonte: Elaboração própria

4.7 Disciplinas e matérias dos cursos identificados como da Robótica Autônoma

Com a relação dos cursos voltados para a Quarta Revolução Industrial e, com a análise dos tópicos e matérias abordados por eles, foi possível identificar o que é proposto como itens de aprendizado da robótica autônoma, conforme apresentado na figura 35.

Figura 35 – Resumo dos tópicos constantes da descrição dos cursos de robótica pesquisados e mais alinhados à robótica autônoma.

Robótica Autônoma
Introdução à robótica autônoma Robôs, Veículos, Humanoides, Drones Autônomos - Pesquisa, Projeto e Construção Desenvolvimento e especificação de robôs autônomos e inteligentes Robótica Subativada
Inteligência Artificial
Inteligência Artificial, Sistemas de IA contemporâneos e Sistemas inteligentes autônomos Estudos aplicados em planejamento, automação e inteligência Inferência probabilística e raciocínio probabilístico Controles inteligentes e autônomo de robôs Comportamento inteligente dos robôs físicos
Conectividade
Mapeamento e controle, com foco em robótica autônoma Detecção e exploração inteligentes Autonomia do robô em sistemas do mundo real
Aprendizado de Máquinas
Aprendizado de máquina Máquinas e dispositivos inteligentes
Computação Cognitiva
Neurociência e a psicologia cognitiva Programação de um robô cognitivo Algoritmos sob os sistemas robóticos de ponta
Segurança Cibernética
Confusão e a incerteza de robô autônomo Normatização, lidando com riscos Segurança da Informação
Internet das Coisas - IoT
Internet das Coisas
Simulação
Projetar e simular sistemas autônomos usando o conceito de digital twins
Sistemas Integrados
Integração com outros agentes autônomos Interação homem-robô

Fonte: Elaboração própria

Não se identificou um curso único que contivesse todos os itens descritos, nem se acredita ser viável por serem tópicos muitas vezes antagônicos entre si. Por exemplo, falar de robótica autônoma, subativada e cognitiva num único contexto é uma tarefa quase impossível num curso de curta duração, que é a maioria dos pesquisados.

Também não se encontrou nenhum curso que mencione computação quântica entre seus componentes curriculares. Dessa forma, e para finalização deste trabalho, onde se procura identificar as matérias sugeridas que componham um curso de robótica autônoma é importante o conhecimento do que está sendo ministrado para se ter um guia do que é importante e necessário ser abordado pelo curso.

Outro ponto a ser considerado é que pelo nível de conhecimento necessário para desenvolver esse curso ele será mais adequado se for no nível de pós-graduação, com o conhecimento prévio dos alunos da Robótica Básica.

Esse curso proposto pode vir a complementar o curso de Manufatura Avançada, apresentado no Apêndice A e ministrado em algumas Faculdades de Tecnologia do Estado de São Paulo ou mesmo os cursos de Automação e Controle oferecidos em diversos Cursos de Engenharia pelo país.

Esse curso poderá vir a complementar o curso de Manufatura Avançada, apresentado no Apêndice A e ministrado em algumas Faculdades de Tecnologia do Estado de São Paulo ou mesmo os cursos de Automação e Controle oferecidos em diversos Cursos de Engenharia pelo país.

Dentro desse panorama, deixa-se aqui a proposta de detalhamento de cada um dos tópicos descritos, transformando-os em disciplinas e matérias que poderão compor um curso de robótica autônoma no nível de pós-graduação. A figura 36 especifica as disciplinas e matérias.

Figura 36 – Disciplinas e matérias propostas para o curso de pós-graduação em robótica autônoma

DISCIPLINA	MATÉRIA
Robótica Autônoma	Introdução à robótica autônoma
	Robôs, Veículos, Humanoides, Drones Autônomos - Pesquisa, Projeto e Construção
	Desenvolvimento e especificação de robôs autônomos e inteligentes
	Robótica Subativada
Inteligência Artificial	Inteligência Artificial, Sistemas de IA contemporâneos e Sistemas inteligentes autônomos
	Estudos aplicados em planejamento, automação e inteligência
	Inferência probabilística e raciocínio probabilístico
	Controles inteligentes e autônomo de robôs
	Comportamento inteligente dos robôs físicos
Conectividade	Mapeamento e controle, com foco em robótica autônoma
	Detecção e exploração inteligentes
	Autonomia do robô em sistemas do mundo real
Aprendizado de Máquinas	Aprendizado de máquina
	Máquinas e dispositivos inteligentes
Computação Cognitiva	Neurociência e a psicologia cognitiva
	Programação de um robô cognitivo
	Algoritmos sob os sistemas robóticos de ponta

DISCIPLINA	MATÉRIA
Segurança Cibernética	Confusão e a incerteza de robô autônomo
	Normatização, lidando com riscos
	Segurança da Informação
Internet das Coisas - IoT	Internet das Coisas
Simulação	Projetar e simular sistemas autônomos usando o conceito de digital twins
Sistemas Integrados	Integração com outros agentes autônomos
	Interação homem-robô
Computação Quântica	Introdução à Computação Quântica

Fonte: Elaboração própria

5 CONCLUSÃO

A aplicação da robótica, desde a Terceira Revolução Industrial, com os robôs antropomórficos atuando em ambientes estruturados e com os robôs móveis AGV atuando em ambientes semi-estruturados, ainda é um importante mercado para os profissionais da área.

Com a Indústria 4.0 e a Quarta Revolução Industrial um novo caminho se abre para a robótica, mais evoluída e com capacidade de atuação em ambientes não estruturados, onde existe a necessidade de que os robôs se auto programem para execução de tarefas, são os chamados robôs autônomos.

Para conhecer a evolução do ensino da robótica foram pesquisados 50 cursos em instituições de ensino superior no mundo. O resultado dessa pesquisa, está apresentado no conjunto de disciplinas que compõe a estrutura básica para um curso de pós graduação na área de robótica autônoma. As matérias a serem desenvolvidas em cada disciplina, colocadas na tabela da figura 36, não esgotam o assunto em si, mas fornecem o caminho do conhecimento e da habilidade necessária aos roboticistas para atuarem dentro das premissas da robótica da Quarta Revolução Industrial.

A partir da análise dos cursos de robótica pesquisados, foi possível identificar que a maioria (37 em 50 cursos) abordam assuntos referentes a robótica da Terceira Revolução Industrial, e somente 13 tem o foco voltado para a robótica autônoma.

As tecnologias, os conhecimentos e habilidades necessárias. para atuação nesse novo panorama são algumas questões que merecem uma reflexão. Pode-se considerar como novas tecnologias ou simplesmente uma evolução das tecnologias já desenvolvidas anteriormente, mas o importante a se observar é que sem a inteligência artificial, o aprendizado de máquina e a conectividade, proporcionada pelos sensores de alta performance, dificilmente se poderá ter um robô ou qualquer outro tipo de mecanismo totalmente autônomo, com capacidade de atuar em ambientes caóticos, com eventos que podem acontecer de maneira imprevisível.

Conhecer e entender essas tecnologias e as competências e habilidades para interagir com elas é parte do objetivo deste trabalho, procurou-se estabelecer seu envolvimento em cada uma das revoluções industriais e de que forma contribuem para o desenvolvimento da robótica, em particular da autônoma da Indústria 4.0. Quais são as capacitações necessárias para o profissional que irá atuar nesse cenário e como poderá ser seu desenvolvimento.

É motivo de discussão, por estudiosos e pesquisadores, que a maioria das profissões do futuro ainda não foram definidas e que muitas das atuais estão em vias de extinção e nesse cenário, como podem as instituições de ensino se preparar para enfrentar essa situação. É fato que muitos empregos deixarão de existir, mas também é fato que muitos outros, com novas exigências surgirão, isso aconteceu nas três revoluções anteriores e irá se repetir nesta que se está vivenciando; por esse motivo, tem-se que estar preparado para as novas exigências dos mercados.

Durante a realização deste trabalho verificou-se a oportunidade da criação do curso de pós graduação em Robótica Autônoma, tendo como base o que vem sendo ensinado nas instituições de ensino superior, ficando o seu detalhamento como uma sugestão para continuidade deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABB, **IRB 910SC SCARA ABB Robots**, 2019. ISSN ID: 3HAC056431-001. Disponível em: <<https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-910sc>>. Acesso em: 09 jan. 2020.

ANANDAN, T. M. **Collaborative Robotics End User Applications**. 2018, RIA - *Robotics Industrie Association*, Michigan, 2018. Disponível em: <<https://www.robotics.org/robotics>> Acesso em: 18 ago. 2019.

ARBIX, G. et al. **Made in China 2025 e Indústria 4.0: a difícil transição chinesa do catching up à economia puxada pela inovação**. Tempo Social, 30, 13 Dezembro 2018. 143-170. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/ts/article/view/144303>>. Acesso em: 26 mai. 2019.

ARENAS, J. S. T. **Retrofitting do robô ASEA IRB6-S2 baseado em tecnologias de comando numérico usando LINUXCNC**. Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/313899979_Retrofitting_do_Robo_Asea_IRB6-S2_Baseado_em_Tecnologias_de_Comando_Numerico_Usando_LinuxCNC>. Acesso em 21 jan. 2020

ASFAHL, C. R. **Robots and Manufacturing Automation**. Arkansas: John Wiley & Sons, 1992. 512 p. ISBN ISBN: 978-0-471-55391-5.

ASIMOV, I. **I ROBOT**. [S.l.]: Gnome Press, 1950. 253 p. ISBN ISBN: 8576572001.

AURÉLIO. **Significado de Robô**, 2019. Disponível em: <<https://dicionarioaurelio.com/robo>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

BARBOSA, P. M. R. **O construtivismo e Jean Piaget**. Educação Pública, Rio de Janeiro, 23 Jun. 2015. ISSN 1984-6290. Disponível em: <<https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/15/12/o-construtivismo-e-jean-piaget>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

BARROS, O. D. **O Brasil e os desafios da quarta revolução industrial - Um pensamento sistêmico para o Brasil**. Revista Dialogos Estratégicos, Brasília, v. 1, n. 2, Julho 2018. Disponível em: <<http://governance40.com/dialogos-estrategicos-o-brasil-e-os-desafios-da-quarta-revolucao-industrial/>>. Acesso em: 29 mai. 2019.

BCN3D, M. -. **A fully Open Source 3D printed robot arm**, 28 July 2016. Disponível em: <<https://www.bcn3dtechnologies.com/en/bcn3d-moveo-the-future-of-learning/>>. Acesso em: 26 ago. 2019.

BELO, C.; PIRES, S. **Robotista: a profissão chave da Indústria 4.0**. Mundo Senai - Fique por Dentro, 01 Agosto 2018. Disponível em: <<https://www.mundosenai.com.br/fique-por-dentro/robotista-profissao-chave-da-industria-40/>>. Acesso em: 11 jul. 2019.

BENITTI, F. B.; VAHLICK A.; et al. **Experimentação com robótica educativa no ensino médio**: ambiente, atividades e resultados. *Workshop de informática na escola*. Blumenau: FURB - Universidade regional de Blumenau. 2009. p. 1811 a 1820.

BERBEL, N. A. N. **As metodologias ativas e a promoção da autonomia de estudantes**. Semin: Ciências Sociais e Humanas, Londrina, p. 25 a 40, 2011. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/seminasoc/article/view/10326/10999>>. Acesso em: 14 jan. 2019.

BOUFLEUER, J. P. **A especificidade da educação escolar nas sociedades republicanas e democráticas**. Revista Espacio en Blanco. Series indagaciones, Buenos Aires, v. 29, n. 2, 13 Dez. 2018. ISSN 1515-9482 e 2313-9927. Disponível em: <http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1515-94852019000200008&lang=pt>. Acesso em: 09 jan. 2020.

BRANCO, A. R. M. C.; GOMES, T. J. D. S.; SOUZA, I. L. D. S. **Construção de um Robô**: uma ferramenta para o ensino de física. [S.l.]. 2016. Disponível em: <http://editorarealize.com.br/revistas/conapesc/trabalhos/TRABALHO_EV058_MD4_SA90_ID1462_04052016123546.pdf>. Acesso em: 21 ago 2019

BRESOLIN, G. G.; FREIRE P. S.; et al. **Metodologias ativas para desenvolvimento de competências na formação do engenheiro de produção**, Ponta Grossa, 05 Dez. 2018. Disponível em: <<file:///C:/Users/Antonio/Downloads/01539552492.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

CAE, V. **Porque Investir em Simulação Computacional**. Virtual CAE, 20 Junho 2019. Disponível em: <<http://virtualcae.com.br/2017/11/26/porque-investir-em-simulacao-computacional/>>. Acesso em: 21 ago. 2019

CAMPOS, F. R. **Currículo, tecnologias e robótica na educação básica**. São Paulo. 2011. Disponível em: <<https://tede2.pucsp.br/bitstream/handle/9619/1/Flavio%20Rodrigues%20Campos.pdf>> . Acesso em: 26 ago.2019

CARRARA, V. **Introdução à Robótica Industrial**. São José dos Campos: INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2015. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3K5JPL8>>. Acesso em 11 jan. 2019.

CASTRO, M. H. G. **O futuro da educação na indústria 4.0**. Diálogos Estratégicos, SEAE, Presidencia da republica. [S.l.]. 2018. Volume 1 Numero 2 ISSN: 2595-5845..

CATHO. **Robotista**. Catho, 11 Julho 2019. Disponível em: <<https://www.catho.com.br/profissoes/robotista/>>. Acesso em 26 mar 2020.

CHU, V. **Learning from People: Integrating Robots Into Unstructured Environments**. *Diligent Robotics*, 7 January 2019. Disponível em: <<https://diligentrobots.com/>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

COSTA, A. H. R.; OKAMOTO JR, J. **Interação entre Robô e Ambiente**. In: ROMANO, V. F. *Robótica Industrial - Aplicação na indústria de manufatura e de processos*. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda., 2002. ISBN ISBN:85-212-0315-2.

COSTIN, C. **O futuro do trabalho e a educação no Brasil**. Diálogos Estratégicos, SEAE, Presidência da República. [S.I.]. 2018. Volume 1 Numero 2 ISSN: 2595-5845.

CRAIG, J. J. **Introduction to Robotics - Mechanics & Control**. [S.I.]: Addison-Wesley Publishing Company, 1986. ISBN ISBN 0-201-10326-5.

CRUZ, C. H. C. **Competências e Habilidades: da Proposta à Prática**. [S.I.]: Edições Loyola, 2010. 60 p. ISBN ISBN-13: 9788515023254 ISBN-10: 8515023555.

DATHEIN, R. **Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII w XIX**. Publicações DECON Textos Didáticos, Porto Alegre, Fevereiro 2003. Disponível em: <<https://lume-re-demonstracao.ufrgs.br/artnoveau/docs/revolucao.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

DAVENPORT, T. H.; DYCHÉ, J. **Big data in big companies**. *International Institute for Analytics*, Thomas H. Davenport and SAS Institute Inc. [S.I.]. 2013. Disponível em : <https://www.sas.com/content/dam/SAS/en_us/doc/whitepaper2/bigdata-bigcompanies-106461.pdf>. Acesso em: 20 jun 2019.

DIESEL, A. B.; SANTOS, A. L.; MARTINS, S. N. **Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica**. Revista THEMA, v. 14, p. 268 a 288, 2017. Disponível em: <<http://revistathema.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/404/295>>. Acesso em: 20 ago 2019.

DYNAMICS. **BigDog - The First Advanced Rough-Terrain Robot**. *Boston Dynamics*, 2019. Disponível em: <<https://www.bostondynamics.com/bigdog>>. Acesso em: 18 jul 2019.

EITEL, L. **MiR AMRs coming to Faurecia plants worldwide**. *The robot report*, 8 January 2019. Disponível em: <<https://www.therobotreport.com/mobile-industrial-robots-in-collaboration-with-faurecia-to-optimize-internal-logistics/>>. Acesso em: 21 jun. 2019.

ESTADÃO. Editorial do Estadão: **O futuro do trabalho**. *Jornal Notícias*, 26 Maio 2019. Disponível em: <<https://jornalnoticias.org/26/05/2019/trabalho/editorial-do-estado-o-futuro-do-trabalho>>. Acesso em 26 mai 2019.

ESTEVÃO, M. **O que podemos esperar do mercado de trabalho no mundo 4.0**. Diálogos Estratégicos, SEAE, Presidência da República. [S.I.]. 2018. Volume 1 Numero 2 ISSN: 2595-5845.

FLEURY, M. T. L.; FLEURY, A. **Construindo o conceito de competência**. *Revista de Administração Contemporânea*, Curitiba, v. 5, 2001. ISSN ISSN 1982-7849. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-65552001000500010> >. Acesso em: 08 fev. 2020.

FRAZÃO, D. **ebiografia**, 15 Julho 2019. Disponível em: <https://www.ebiografia.com/alan_turing/>. Acesso em: 11 ago. 2019.

FU, K. S.; GONZALES, R. C.; LEE, C. S. G. **Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence**. Singapore: McGraw-Hill, 1987. ISBN ISBN 0-07-022625-3.

GARCIA, L. A. M. **Competências e Habilidades: você sabe lidar com isso?**, Brasília, 12 Janeiro 2005. Disponível em: <<https://uvnt.universidadevirtual.br/ciencias/002.htm>>. Acesso em: 18 ago. 2019.

GHOBAKALOO, M. **The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0.** *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29, 25 May 2018. 910-936. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JMTM-02-2018-0057/full/pdf?title=the-future-of-manufacturing-industry-a-strategic-roadmap-toward-industry-40>>. Acesso em: 22 jan. 2020.

GROOVER, M. et al. **Robótica - Tecnologia e Programação.** Tradução de David Maurice Savatovsky. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.

HALL, R. E.; JONES, C. I. **Why Do Some Countries Produce So Much?** [S.l.]. 1998. Disponível em: <<https://web.stanford.edu/~chadj/pon400.pdf>>. Acesso em: 18 ago 2019.

HAO, B.; ASTHANA, A.; et al. **New flexible channels for room temperature tunneling field effect transistors.** *Scientific Reports*, n. 6:20293, 2016 February 2016. DOI 10.1038/srep20293. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/srep20293.pdf>>. Acesso 20 jul 2019.

HOBBSAWM, E. J. **Da Revolução Industrial Inglesa ao Imperialismo.** 6a. edição. ed. Rio de Janeiro: Forense - Universitária, 2011. ISBN ISBN 9788530935368.

IDOETA, I. V.; CAPUANO, F. G. **Elementos de eletrônica digital.** 20a. 1994. ed. São Paulo: Érica editora, 1994.

IFR. **Background Information for Journalists on Artificial Intelligence in Robotics.** *International Federation of Robotics*, Frankfurt, May 2018. Disponível em: <https://ifr.org/downloads/papers/Media_Backgrounder_on_Artificial_Intelligence_in_Robotics_May_2018.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.

IFR. **Demystifying Collaborative Industrial Robots.** *International Federation of Robotics*, Frankfurt, December 2018. Disponível em: <https://ifr.org/downloads/papers/IFR_Demystifying_Collaborative_Robots.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2019.

ISO8373:2012. **Industrial robots: definition and classification**, 2016. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/362748065/Industrial-Robots-2016-Chapter-1-2>>. Acesso em: 09 jan. 2020.

JUNG, C. R.; OSORIO F.S.; et al. **Computação embarcada: projeto e implementação de veículos autônomos inteligentes.** XXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. São Leopoldo: UNISINOS. 2005. p. 1358 - 1406. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/15863895-Computacao-embarcada-projeto-e-implementacao-de-veiculos-autonomos-inteligentes.html>>. Acesso em 20 jun 2019.

KAKU, M. **O futuro da humanidade.** Tradução de Jaime Biaggio. São Paulo: Planeta, 2018. 368 p. ISBN ISBN 978-85-422-1667-7.

KYNIGOS, C. **Black-and-white-box perspectives to distributed control and constructionism in learning with robotics**, November 2008. Disponível em: <<http://terecop.eu/downloads/simbar2008/kynigos.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2019.

LANDES, D. S. **Progreso Tecnológico y Revolución Industrial**. Madrid: Editorial Tecnos, 1969. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/318132272/Progreso-Tecnologico-Y-Revolucion-Industrial-de-landes>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

LEE, E. A. **Cyber-Physical Systems - Are Computing Foundations Adequate? NSF Workshop On Cyber-Physical Systems: Research Motivation, Techniques and Roadmap**. Austin, Tx: [s.n.]. 20 jun. 2006. Disponível em: <<https://eecs.berkeley.edu/>>. Acesso em : 20 jun.2019.

LEURENT, H. **Perspectivas de especialistas brasileiros sobre manufatura avançada no Brasil**. MICES, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços; MCTIC, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Brasília,. Brasília. 2016. Prefácio.

LIMA, A. L. G. **Os temas da evolução e do progresso nos discursos da psicologia educacional e da história da educação**. História da Educação, Santa Maria, v. 23, Nov. 2019. ISSN 1414-3518 e 2236-3459. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/2236-3459/93208>>. Acesso em: 10 Jan. 2020.

LORENZ, M.; RUBMANN, M.; et al. **Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries**. Boston Consulting Group, New York. 2015. Disponível em: <www.zvw.de/media/media.72e472fb-1698-4a15-8858-344351c8902f.original.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2019.

MACHADO, A. **Comando Numérico Aplicado às Máquinas Ferramenta**. São Paulo: Ícone Editora Ltda., 1989.

MACHADO, L. A.; GALVÃO JUNIOR, P. **A quarta revolução industrial em pleno século XXI**. SAM Souza Aranha machado, 12 Setembro 2018. Disponível em: <<http://www.souzaaranhamachado.com.br/2018/09/a-quarta-revolucao-industrial-em-pleno-seculo-xxi/#top>>. Acesso em: 29 mai. 2019.

MACIENTE, A. N.; RAUEN, C. V.; KUBOTA, L. C. **Tecnologias Digitais, Habilidades Ocupacionais e Emprego Formal no Brasil entre 2003 e 2017**. Ministério da Economia - Governo Federal. Brasília. 2019. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/mercadodetrabalho/190520_bmt_66_dossie_tecnologias_digitais.pdf>. Acesso em: 18 ago 2019.

MANKIW, N. G.; ROMER, D.; WEIL, D. N. **A contribution to the empirics of economic growth**, May 1992. Disponível em: <https://eml.berkeley.edu/~dromer/papers/MRW_QJE1992.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2019.

MARINGONI, G. **Desafios do desenvolvimento - A superação dos obstáculos para a industrialização**. [S.l.]. Ministério da Economia - Governo Federal. Brasília. 2012. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/>>. Acesso em: 21 jul. 2019.

MDIC; MCTIC. **Perspectivas de especialistas Brasileiros sobre a Manufatura Avançada no Brasil**. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços; Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Brasília, p. 68. 2016.

MENA, I. **Verbetes Draft**: o que é computação cognitiva. Draft Academia, 23 Agosto 2017. Disponível em: <<https://projetodraft.com/verbete-draft-o-que-e-computacao-cognitiva/#>>. Acesso em: 30 mai. 2019.

MENEZES FILHO, N. **Inteligência Artificial e Mercado de Trabalho**. Diálogos Estratégicos, SEAE, Presidência da República. [S.I.]. 2018. Volume 1 Numero 2 ISSN: 2595-5845.

MICHAELIS. **Dicionário Português Brasileiro**. [S.I.]: Editora Melhoramentos, 2019. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/revolu%C3%A7%C3%A3o/>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

MIRANDA, J. R.; SUANNO, M. V. R. **Robótica na escola**: ferramenta pedagógica inovadora. Educere. Goiana. 2009. Disponível em: <<http://www.natalnet.br/lars/wre2012/pdf/106596.pdf>>. Acesso em: 18 jun 2019.

MOREIRA, R. **A importancia da industria 4.0 para o Brasil**. Diálogos Estratégicos, SEAE, Presidência da República. [S.I.]. 2018. Volume 1 Numero 2 ISSN: 2595-5845.

MUNOZ, A. **Machine Learning and Optimization**. Canaltech, New York, 2019. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/7fbb/a79630b5a09dd66ab13f00c3aefaa56cf268.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2019.

OKA, M. M. **História do transistor**. [S.I.]. 2000. Disponível em: <<http://www.lsi.usp.br/~dmi/manuais/HistoriaDoTransistor.pdf>>. Acesso em: 9 jul. 2019.

PAPERT, S. **Mindstorms - Children, computers, and powerful ideas**. New York: Basic Books, Inc., Publishers, 1980. ISBN ISBN: 0-465-04627-4. Disponível em: <<http://worrydream.com/refs/Papert%20-%20Mindstorms%201st%20ed.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2019.

PAZOS, F. **Automação de Sistemas e Robótica**. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil Editora, 2002. ISBN ISBN: 85-7323-171-8.

PERASSO, V. **O que é a 4a. revolução industrial** - e como ela deve afetar nossas vidas. BBC News - The Guardian, 22 Outubro 2016. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-37658309>>. Acesso em: 11 ago. 2019.

PEREIRA, C. E.; LAGES, W. F. **Integração de sinais e dados**. In: ROMANO, V. F. Robótica Industrial. São Paulo: Edgard Blucher, 2002. ISBN ISBN: 85-212-0315-2.

PROFCARDY. **As Melhores Universidades de Engenharia e Tecnologia do Mundo**. profcardy.com, 2020. Disponível em: <<http://www.profcardy.com/vestibular/top100-ENG-TECH.php#>>. Acesso em: 30 jan. 2020.

QUEROBOLSA. **Melhores Cursos de Engenharia do Brasil segundo o MEC.** querobolsa.com.br, 2018. Disponível em: <<https://querobolsa.com.br/revista/melhores-cursos-de-engenharia-do-brasil>>. Acesso em: 30 jan. 2020.

REYES, J. S.; DURO, R. **Evolución artificial y robótica autónoma.** Madrid: RA-MA Editorial, 2005. ISBN 84-7897-631-0.

RIBEIRO, A. D. F. **Taylorismo, fordismo e toyotismo.** Lutas Sociais, São Paulo, 19, n. 35, jul/dez 2015. 65-79. Disponível em: <<https://revistas.pucsp.br/ls/article/viewFile/26678/pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2019.

ROBOTS, U. **Robots, Cobots and Human Labor.** *Universal Robots*, 2019. Disponível em: <<https://universal-robots.com>>. Acesso em: 09 jun. 2019.

ROMANO, V. F. **Robótica Industrial - Aplicação na Indústria de Manufatura e Processos.** 1a. Edição. Robótica Industrial. São Paulo: Edgard Blucher, 2002. ISBN: 85-212-0315-2.

ROMANO, V. F.; DUTRA, M. S. **Introdução à robótica industrial.** 1a. Edição. Robótica Industrial. São Paulo: Edgard Blucher, 2002. ISBN: 85-212-0315-2.

SÁ, R. **Agrogênese neolítica e principais transformações agrícolas ao longo da história até a revolução francesa,** Lisboa, 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Rui_Sa4>. Acesso em: 20 abr. 2019.

SANTOS, L. R.; RIBEIRO, A. G. **Educação presencial mediada por tecnologias com estratégia b-learning e aprendizagem ativa no ensino técnico.** Educação Pública, Rio de Janeiro, Ago. 2018. ISSN 1984-6290. Disponível em: <<https://educacaopublica.cecierj.edu.br>>. Acesso em: 10 Jan. 2020.

SAVIANI, D. **Escola e Democracia.** 32a. ed. Junho: Editora Autores Associados, 1999. ISBN: 85-85701-23-4. Disponível em: <<https://petpedufba.files.wordpress.com/2016/02/savianidermeval-escolaedemocracia.pdf>>. Acesso em: 18 Ago. 2019.

SCHUH, G. **Industrie 4.0 Maturity Index - Managing the Digital Transformation of Companies (acatech STUDY).** Munich. 2017. ISSN 2192-6174.

SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial.** Geneva: Tradução de Daniel Moreira Miranda. 1a. edição. ed. São Paulo: Edipro, 2016. ISBN 978-85-7283-978-5

SCHWAB, K. **Aplicando a quarta revolução industrial.** Tradução de Daniel Moreira Miranda. 1a. edição. ed. São Paulo: Edipro, 2018. ISBN 978-85-521-0024-9.

SEAE; Presidência da República. **Dialogos Estratégicos - O Brasil e os Desafios da Quarta Revolução Industrial.** Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos - Presidência da República. Brasília,. [S.l.]. 2018. Volume 1 Numero 2. ISSN: 2595-5845.

SENAI. **Série metódica ocupacional (SMO)**. São Paulo: SENAI-SP editora, 2012.

SHELLEY, M. **Frankenstein The Modern Prometheus**. [S.l.]: [s.n.], 1818. Disponível em: <<http://www.bl.uk/learning/timeline/item126765>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

SHOHAM, M. **Robotic Structure, Textbook 4**. Tel Aviv: Eshed Robotec, 1982. ISBN: 965-291-004-x.

SIEGWART, R.; NOURBAKHSH, I. R. **Introduction to Autonomous Mobile Robots**. Massachusetts: The MIT Press, 2004. ISBN-13: 978-0-262-19502-7 e 10: 0-262-19502-X.

SILVA D, D. B.; SILVA R, R. M.; GOMES, M. D. L. B. **O reflexo da terceira revolução industrial na sociedade**. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Curitiba: ABEPRO. 2002. p. 1-8.

SILVEIRA, P. R. D.; SANTOS, W. E. D. Automação e controle discreto. 9a. edição. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2011. ISBN: 978-85-7194-591-3.

SOUZA, R. **Segunda Revolução Industrial**. [S.l.]. 2019. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br>>. Acesso em: 21 jul 2019.

STEVAN JR., S. L.; LEME, M. O.; SANTOS, M. M. D. **Indústria 4.0 - Fundamentos, perspectivas e aplicações**. São Paulo: Érica, 2018. ISBN:978-85-365-1710-8.

TADDEI, M.; LISA, M. **Los Robots de Leonardo da Vinci**. Madrid: Susaeta Edicionaes, S. A., 2009. ISBN: 8492678984/ 9788492678983.

TORN, I. A. R.; VANEKER, T. H. J. **Mass personalization with Industry 4.0 by SMEs: a concept for collaborative networks**. *Procedia Manufacturing*, 2019. Direct, Science. DOI 2018.12.022. Pag. 135-141.

USATEGUI, J. M.; GONZALES, R. **Curso de Robótica**. Madrid: Edf. Paranifo, 1985. ISBN: 8428313156.9788428313155

VALENTE, J. **Agência Brasil**. EBC - Empresa Brasil de Comunicação, 2018. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-06/vendas-mundiais-de-robos-industriais-batem-recorde>>. Acesso em: 22 jan. 2020.

VALVA, F. D. A.; DINIZ FILHO, J. A. F. **A trajetória humana**. Canindé, Xingó, 3, 2003. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br> >. Acesso em: 20 mai. 2019.

WAGNER, T. **The Global Achievement Gap**, 2009. Disponível em: <<https://www.cosa.k12.or.us/downloads/profdev/Seaside%202009/Tony%20Wagner.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2018.

WANG, Y. et al. **Advances in Manufacturing**, volume 5, pag. 311-320, Dec 2017. ISSN 2095-3127 e 2195-3597.

WING, J. M. **Computational thinking and thinking about computing**. *The Royal Society Publishing*, 31 Jul 2008. Disponível em:

<<http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/roypta/366/1881/3717.full.pdf>>. Acesso em 18 ago 2019.

WOLF, D.; OSÓRIO, F.; et al. ***Intelligent Robotics: From Simulation to Real Word Applications***. USP - Universidade de São Paulo. São Carlos. 2009. Disponível em: <<http://inct-sec.icmc.usp.br/actrep/sites/default/files/highlights/Tutorial-JAI.pdf>>. Acesso em 11 jan 2019.

ZILLI, S. D. R. **A Robótica educacional no ensino fundamental: perspectivas e prática**. Florianópolis. 2004. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/30367994.pdf>>. Acesso em: 19 ago 2019.

APÊNDICE A – Projetos e Exemplos da Educação 4.0

Algumas instituições já começam a preparar o novo cenário da Quarta Revolução Industrial, a seguir se apresentam dois exemplos de transformações que escolas estão promovendo e outros dois projetos que estão se desenvolvendo dentro da Educação 4.0.

Exemplo 1 - Conforme se verifica nas instituições de ensino de alguns países, uma profunda transformação das escolas está ocorrendo, experimentos importantes têm sido desenvolvidos, busca-se um maior envolvimento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem, estratégias como Aprendizagem Baseada em Problemas – ABP (do inglês *Problem-Based Learning- PBL*), um método de aprendizagem centrado no aluno, que deixa de ter o papel de receptor passivo do conhecimento e assume o lugar de protagonista com os professores assumindo o papel de facilitadores do processo de produção do conhecimento. Na concepção de especialistas, representa um método de aprendizagem que tem por base a utilização de problemas como ponto de partida para a aquisição e integração de novos conhecimentos. Precisa-se de uma escola que ensine a pensar, que amplie o repertório cultural e desperte nas mentes dos alunos dois componentes essenciais para uma aprendizagem consistente: a curiosidade e a imaginação.

O projeto “ensino com robótica” que será descrito adiante tem por objetivo trazer o aluno para o centro das aulas, não como um simples observado para como um participante ativo. Várias escolas têm realizado projetos semelhantes, e sua divulgação tem sido através de concursos de robótica, feiras e exposições. Isso estimula a participação do jovem aprendiz a conhecer novas tecnologias.

Exemplo 2 – O SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, em seus cursos técnicos de automação industrial e mecatrônica passam por adaptações nos últimos anos para garantir formação de excelência. A definição do currículo de uma instituição de formação profissional deve se basear na análise ocupacional, através de informações obtidas referentes a uma determinada região, quanto as suas atividades econômicas mais representativas, essa tem que ser a forma a ser utilizada para estabelecer seus cursos, principalmente os de nível técnico e tecnológico. A base da escola progressista, que tem por objetivo ampliar as oportunidades de ensino e trabalho para todas as camadas sociais, está nessa integração escola-empresa. Também se espera que o estudante seja um elemento ativo, com o aprendizado

partindo do aprender a fazer fazendo. Várias técnicas são propostas por esse movimento, entre eles o Conhecimentos, Habilidades e Atitudes - CHA, tradução do *Knowledge, Skills and Abilities - KSA*. Pretende-se com isso expandir o escopo da educação para além do desenvolvimento intelectual, incluindo o físico e o emocional. Sendo que se busca nessas análises as atribuições, funções, tarefas, operações e passos, tudo de uma forma sequencial e ordenada, em todos os níveis do trabalho.

Projeto 1 - Projeto desenvolvido pelo NEPTAR para capacitação de docentes para o ensino com robótica

Em 2018 inicia-se um projeto voltado a capacitação de professores do ensino fundamental e médio para o ensino com robótica, desenvolvido no Núcleo de Estudos e Pesquisas Tecnológicas em Automação e Robótica – NEPTAR, da Faculdade de Tecnologia de Sorocaba. Observa-se que a robótica permite aos alunos o pensar sobre problemas sistêmicos, nos quais várias partes interagem e várias soluções são possíveis. Deve-se, portanto, explorá-la não somente pela parte estética do material, mas pelas atividades que dela se originam fazendo com que o aluno pense, desafie e aja, construindo, com isto, conceitos e conhecimento. Esse tem que ser o desafio de utilizar a robótica ou outro problema tecnológico no auxílio do aprendizado. Estimular os alunos a desvendar os conceitos inseridos na construção e operação de um robô. (BENITTI, VAHL DICK, *et al.*, 2009)

Procura-se, neste projeto de ensino com robótica, verificar a melhor forma de integração do ensino de robótica nos currículos das escolas. Observa-se, que os estudos analisados, em sua maioria apresentam algumas soluções para o ensino básico.

“Quando utilizamos o termo integração ao currículo, estamos nos referindo a uma relação entre currículo e a robótica como recurso tecnológico, ou seja, não apenas o uso como transmissão de conteúdo e a consequente adequação desta respectiva tecnologia ao processo de aprendizagem tradicional, mas sim um profundo repensar das práticas pedagógicas e todos os aspectos que envolvem a integração deste recurso ao currículo.” (CAMPOS, 2011, p. p. 224)

Dessa forma, fica evidente que não basta pegar um kit, denominado didático e que está disponível para montagem de um robô, aplicar em sala de aula e considerar que se está ensinando robótica. Ao se analisar o material de apoio se verifica que se preocupam em ensinar a montar e operar o robô, sem dar maiores detalhes de funcionamento dos componentes, não são observados, no material de apoio disponível, aspectos educacionais relevantes que possam contribuir com o desenvolvimento dos alunos, ou seja os kits disponíveis não são desenvolvidos para

essa integração de ensino da robótica com demais componentes curriculares do ensino, sendo apenas para montar um robô e fazê-lo se mover.

O interesse dos alunos para montar um robô e fazer ele se movimentar, seja pegando coisas ou andando sobre uma trilha, é a base para despertar curiosidade e o interesse em participar das aulas práticas, porém o aspecto educacional fica comprometido. Ainda na análise do que é estudado e apresentado como ensino de robótica didática nota-se uma vertente muito voltada ao ensino de computação, com muita abordagem nessa área e pouca ou nenhuma abordagem na física, na matemática ou na mecânica da robótica, componentes esses que estariam contribuindo para o aprimoramento dos alunos.

Para capacitação dos docentes no ensino com robótica nas escolas é sugerido um roteiro dividido em quatro etapas:

Etapa 1 – Conhecimento básico dos componentes do robô, o que são, para que servem e como funcionam, ensino inicial de programação do Arduino –etapa de construção de uma maquete de cruzamento de rua com semáforos de veículos e pedestres sincronizados – ensino de energia, geração, transporte e armazenagem, pilhas e baterias, *leds* tipos e cores, resistência, tensão corrente, temporização, sincronização, e ensino de leis de trânsito para o ensino fundamental.

Etapa 2 – Conhecimento avançado dos itens do robô, inclusive com pesquisa de componentes similares e mais evoluídos – projeto da segunda etapa construção de um robô móvel autônomo – ensino de motores e servo motores, tração, potência, movimento.

Etapa 3 – Conhecimento de sensores e programação avançada de Arduino – projeto de um robô seguidor de trilha – ensino de sistema de coordenadas, vetores, *encoder*, servo motores.

Etapa 4 – Conhecimentos de momento, força, peso, movimento no espaço - projeto de braço robótico com controle por Arduino – ensino de movimento espacial em três eixos, vetores, capacidade de carga, precisão, complacência.

O projeto se inicia com uma unidade de ensino médio, com a capacitação dos professores e o acompanhamento pela equipe do NEPTAR. Com o sucesso do projeto, ele é apresentado a várias outras unidades, que demonstram interesse em participar, inclusive uma entidade assistencial, Associação Criança Feliz de Sorocaba, que tem por objetivo o atendimento a crianças e jovens com dificuldades de aprendizado. O interesse demonstrado pelos jovens quando apresentado a um

problema real de montar um protótipo utilizando controladores Arduino, *leds*, baterias, servo motores etc. é estimulante. Eles passam a pesquisar novas ideias na internet, indo muito além do apresentado em uma aula.

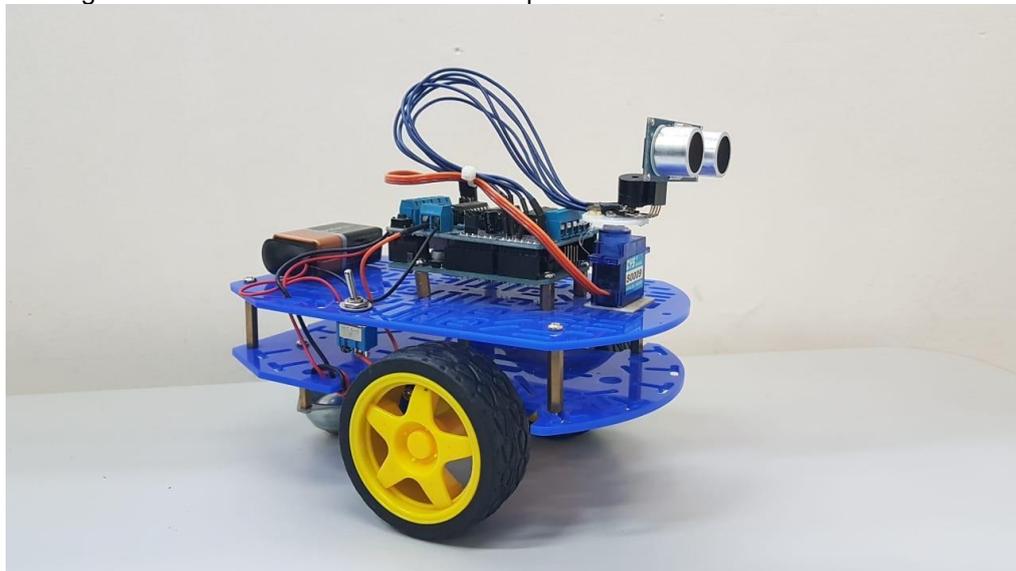
Importante a observação de que eles não estão aprendendo robótica, mas aprendendo *com a robótica*, ou seja, a montagem de um robô é a desculpa encontrada nessa associação para recuperar a autoestima e o entusiasmo dos jovens, integrando-os à escola e a sociedade. Num evento recente, três dos jovens que se destacaram no projeto ganharam os três primeiros lugares num concurso de poesia, mostrando que a atividade desenvolvida no projeto abre novos horizontes a esses jovens. Pretende-se ampliar esse projeto para novas instituições de ensino e de jovens carentes, e é importante observar-se que o projeto [e de baixo custo, sendo acessível a praticamente todas unidades de ensino que desejarem implanta-lo, bastando para seu início um computador e um kit de montagem de robô com arduino que é encontrado facilmente para aquisição na internet. Nas figuras 37 e 38 apresenta-se uma aula para desenvolvimento do projeto dessa associação um exemplo de robô tipo AGV desenvolvido. Observa-se que ela não segue os padrões de aula tradicionais, deixando os jovens a vontade para se agruparem e desenvolverem seu trabalho sem o formalismo de uma sala de aula.

Figura 37 - Foto da aula de desenvolvimento do projeto ensino com robótica na Associação Criança Feliz



Fonte: Elaboração Própria

Figura 38 - Modelo de um robô móvel tipo AGV desenvolvido com kit arduíno



Fonte: Elaboração própria

Outro ponto a ser considerado é a metodologia a ser empregada no ensino da robótica. A utilização dos robôs como Projetos Integradores de diferentes disciplinas pode ser aplicada num modelo de ensino por competências, onde o aluno é estimulado a buscar as respostas aos diversos problemas que envolvem a montagem de um robô, por exemplo, ao utilizar um motor, ele deve ser estimulado a descobrir que tipo de motor é utilizado, quais os demais tipos existem, quais as diferenças entre

eles, e indo um pouco mais pode-se estimular a descobrir os tipos de energia que movimentam o motor, diferença entre elas, como são geradas, como chegam as nossas casas, e assim por diante abrindo um leque de possibilidades de pesquisa que devem ser orientadas pelos professores. Ficando os mesmos mais com o papel de consultores e orientadores. As sugestões de tópicos apresentadas são de caráter geral, sendo necessária uma adequação a cada grupo de docentes em que for implantar o projeto, de acordo com o nível de conhecimento que eles possuem no assunto.

Outros projetos podem ser utilizados no ensino com a robótica. Um modelo disponível na internet, e com acesso livre é o robô MOVEO - BCN3D visto na figura 39, trata-se de um braço robótico de cinco eixos projetado para ser um robô educacional de plataforma aberta. Esse robô foi construído pela empresa BCN3D em parceria com a Fundação CIM, pertencente a *Universitat Politècnica de Catalunya*, sediada em Barcelona, Espanha (BCN3D, 2016) . Para que um projeto semelhante ao citado seja aplicado são necessários recursos como Máquina de Manufatura Aditiva, também conhecida como Impressora 3D, laboratórios adequados de eletrônica, eletricidade e automação, equipamentos de apoio como multímetros, osciloscópios, ferramentas de múltiplo uso e principalmente capacitação técnica dos docentes.

Figura 39 - Robô educativo MOVEO BCN3D de 5 eixos



Fonte: - Disponível em < <https://www.bcn3dtechnologies.com/en/bcn3d-moveo-the-future-of-learning/>>, Acesso em 18 Ago 2019

Projeto 2 - Criação do curso de Manufatura Avançada e Indústria 4.0

Um outro projeto desenvolvido para formação da mão de obra necessária na Quarta Revolução Industrial tem por base a Faculdade de Tecnologia José Crespo Gonzales - Fatec Sorocaba. Trata-se da criação do Curso Superior de tecnologia em Manufatura Avançada.

O início da ideia foi no 1º. Simpósio de Tecnologia Mecânica realizado na Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, que ocorre durante a 23ª. Semana de Tecnologia em 2016; com participação de professores de várias unidades de ensino, alunos e profissionais das indústrias da região é criado o NEPTind4.0 - Núcleo de Estudos e Pesquisas Tecnológica da Indústria 4.0, que tem por objetivo discutir os pilares da Indústria 4.0. Em 2017 realiza-se o 2º. Simpósio de Tecnologia Mecânica durante a 24ª. Semana de Tecnologia da Fatec Sorocaba, com a presença de representantes das indústrias da região, da Prefeitura e do Parque Tecnológico de Sorocaba, Crea, Associação dos Arquitetos e Engenheiros de Sorocaba - AAES e do Ciesp, e é lançada a intenção de implantação de um curso na área da Indústria 4.0 e Manufatura Avançada.

Tendo como objetivo principal formar tecnólogos qualificados para enfrentar os desafios da Quarta Revolução Industrial, o Curso Superior de Tecnologia em Manufatura Avançada é implantado a partir do ano 2018 e tem por objetivo abordar conceitos que vão desde a concepção do produto, projeto, desenvolvimento do processo de manufatura, integração entre processos e máquinas, assim como agregar as tecnologias voltadas para a Indústria 4.0 como Sistemas Automatizados, Simulação Computacional, Realidade Aumentada e Virtual, Sistemas Integrados, Robótica Autônoma, Internet das Coisas, Big Data, Segurança da Informação, Manufatura Aditiva e Dados em Nuvem.

Tem ainda como objetivo específico formar profissionais engajados no processo de aprendizagem contínua ao longo da vida, criativos, preparados para a solução de problemas na área da Manufatura Avançada e da Indústria 4.0. Para tanto, são utilizadas as metodologias ativas em seus componentes curriculares e Projetos Integradores, suprindo o mercado regional e nacional com um profissional que conheça e execute técnicas comumente encontradas na fabricação de produtos e consiga transformar ambientes de manufatura convencional em ambientes de manufatura avançada.

A Robótica está integrada nesse curso de Manufatura Avançada, desde a proposição de ser, a construção de um robô um dos projetos integradores, até o desenvolvimento de AGV e outras modalidades de robôs, que serão propostos para serem desenvolvidos ao longo de cada semestre do curso. O objetivo é que através do mesmo os alunos sejam estimulados ao conhecimento, serão propostos desafios que farão com que os alunos busquem respostas aos questionamentos apresentados, funcionando as disciplinas como apoio a essa busca de soluções. Será utilizado para o desenvolvimento do curso um robô antropomórfico de cinco eixos. Tomando como base o robô MOVEO BCN3D desenvolvido pela Universidade da Catalunha e que é apresentado na figura 40.

Figura 40 - Robô desenvolvido na Fatec Sorocaba com base no MOVEO BCN3D



Fonte: <http://www.fatecsorocaba.edu.br/nucleosneptar.asp>

A proposta do curso prevê no primeiro semestre os alunos tomarem contato com a tecnologia embarcada na robótica, fazendo a reengenharia de robôs antropomórficos e humanoides, aprendendo como funcionam, verificando seus componentes, desenhando suas peças e fazendo novas peças em equipamentos de manufatura aditiva ou fresadoras 3D. É proposto aos alunos que promovam melhorias nos projetos, isso é o que se está chamando de projeto integrador do curso, e visa integrar todas as disciplinas do semestre com a participação de alunos e professores.

Os novos equipamentos que forem sendo produzidos serão utilizados pelas novas turmas, sempre buscando aperfeiçoamento e busca por novas tecnologias.

No segundo semestre do curso, a mesma abordagem será realizada com um equipamento de manufatura aditiva, uma fresadora 3D ou outro equipamento industrial, ou seja, a desmontagem, análise dos componentes, desenho deles, projetos de melhoria e entendimento do funcionamento. No terceiro semestre, o projeto será o desenvolvimento de um AGV, e nesse semestre o robô deverá seguir trilhas no caminho. No quarto semestre se buscará a integração de todos os projetos anteriores, com um sistema de comunicação tipo RFID, GPS, Redes de Comunicação ou outra forma encontrada pelos alunos para que o AGV possa passar por vários laboratórios e integrá-los como uma unidade fabril. Os projetos do quinto e sexto semestre deverão ser desenvolvidos com empresas, buscando uma integração com problemas externos. Nas figuras 41 vê-se o trabalho da equipe de alunos no desenvolvimento do AGV no terceiro semestre do curso, na figura 42, o modelo montado e na figura 43 o banner apresentado pelo grupo em um Workshop sobre a Indústria 4.0 realizado na cidade de Sorocaba.

Figura 41 - Foto do grupo de alunos trabalhando no AGV



Fonte: Elaboração própria

Figura 42 - Foto do AGV montado no curso de Manufatura Avançada dentro do NEPTAR



Fonte: Elaboração própria

Figura 43 - Banner do projeto do AGV apresentado no Workshop da Indústria 4.0 em Sorocaba

AGV
AUTOMATED GUIDED VEHICLE.

IX WORKSHOP
INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS
APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA 4.0

Artigo feito pelos alunos do curso de MANUFATURA AVANÇADA 3º Semestre, orientado pelo núcleo de estudo NEPTAR.

LOCAL: Parque Tecnológico de Sorocaba
08h30 às 12h30 **da manhã**

MEDIADOR:
Nelson Rampin Filho, Coordenação do Neptar 4.0 - Núcleo de Estudos e Pesquisa em Indústria 4.0

Adriana Oliveira
Agnaldo Cardoso
Arthur Blanco
Bruna Tavares

Edilson Tavares
Eliane Carvalho
Emerson Sexto
Fabio Granelli

Fernando Rodrigues
Felipe Rosa
João Rezende
Lucas Willian

Luciano Silva
Matheus Henrique
Matheus Pagel
Rickelme Dias

Thiago Castellani

INTRODUÇÃO

Acredita-se que a indústria 4.0 seja o primeiro passo para a transformação da humanidade. A indústria 4.0 pode ser definida como a face do futuro do ambiente industrial. Ela é caracterizada pela estruturação de rotinas mais inteligentes, inovadoras e conectadas com a tecnologia. Em outras palavras, na indústria 4.0, a TI é levada para todos os ambientes de negócio. Isso passa pelo uso de dados na tomada de decisão, pela automação e pela integração de times. Assim, é possível formular produtos mais inteligentes e conectados com as demandas dos clientes. Na indústria 4.0, também são criados novos fluxos de trabalho, pois as decisões são realizadas de modo descentralizado, os times ganham autonomia e as equipes terão informações transparentes para auxiliar em seu dia a dia evitando problemas.

Visando o futuro, a FATEC, introduziu no campus de Sorocaba o curso de Manufatura Avançada disponibilizando professores qualificados e laboratórios onde os alunos têm a oportunidade de se integrar nas tecnologias da indústria 4.0.

DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

A Indústria 4.0 trouxe muitas mudanças para a gestão da cadeia de suprimentos, isso por que une diferentes tecnologias, como a automação de processos, computação em nuvem, internet das coisas, aprendizado de máquina, inteligência artificial, big data, sistemas ciberfísicos, etc. Muitas dessas tecnologias, quando integradas entre si ou com outras, dão origem a chamadas fábricas inteligentes, elas controlam seus próprios processos de maneira descentralizada e autônoma, propiciando ambientes auto ajustáveis às buscas e demandas por mercados personalizadas.

A Indústria 4.0 foi dividida em 9 pilares:

- Robôs Autônomos/ Sistemas Ciberfísicos
- Simulação
- Sistema de Integração Horizontal e Vertical
- Internet das Coisas
- Segurança Ciberfísica
- Computação em Nuvem
- Fabricação Aditiva
- Realidade Aumentada
- Big Data e Análises

ROBÔS AUTÔNOMOS

Robôs Autônomos (Autonomous Robots, em inglês) são máquinas capazes de realizar, sem intervenção ou controle humano, tarefas em ambientes desestruturados nos quais cabe ao robô a tomada de decisões não programadas, para solucionar problemas novos e lidar com situações imprevisíveis. Os níveis de autonomia variam de acordo com a estrutura do robô e com a função a desempenhar. Na medicina, por exemplo, se o procedimento envolver risco à vida do paciente (no caso de cirurgias mais complexas), o robô terá autonomia muito relativa, já para uma tarefa doméstica (como a limpeza de um piso), essa autonomia poderá ser bem maior. Hoje, robôs 100% autônomos ainda não existem, pelo menos ainda não são comercializados.

Embora liderado pela indústria automobilística, o processo de robotização no país se espalhou por outros setores, com destaque para as indústrias de alimentos, bebidas, eletroeletrônica e química. O uso de robôs em diversas etapas da produção é um importante passo para fazer parte da chamada Indústria 4.0, sendo um de seus pilares.

DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO, PROJETO AGV

Com a chegada da quarta revolução industrial, empresas de todos os tamanhos estão procurando maneiras de automatizar seus processos para aumentar sua competitividade, sempre cuidando da segurança de seus funcionários. Um dos grandes desafios na automação de processos de fabricação é o transporte de materiais e paletes que ainda são feitos por pessoas, empilhadeiras e sistemas inflexíveis, como veículos automatizados guiados (AGV, por sua sigla em inglês) e transportadores. Os robôs móveis autônomos (AMR, por sua sigla em inglês) vêm mudando esse paradigma, oferecendo uma plataforma avançada e flexível que se ajusta às demandas nos processos de manufatura para manter a competitividade e reduzir os custos.

Sendo assim, em parceria com a empresa Flash Courier, os alunos da Fatec Sorocaba, do curso de Manufatura Avançada do 3º Semestre desenvolveram o projeto de um AGV que faça o carregamento e descarregamento automático de uma caixa plástica de 30 Kg.

Projeto em fase final de desenvolvimento, aguardando testes e implementação no setor produtivo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho tem como o objetivo desenvolver e implementar dispositivos autônomos, afim de melhorar o desempenho no setor produtivo, inserindo tecnologias nos equipamentos e processos, nos preparando cada vez mais para a presente revolução industrial (Indústria 4.0).

REFERÊNCIAS

- <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/robos-autonomos/>, p1c1ur1e;
- <https://www.voitto.com.br/assets/images/blog/2016/06/21/ed3a8325e30e99f2b6aeb8.png>
- <https://materiais.inovacaointustrial.com.br>
- <https://www.escolaedi.com.br>
- <https://www.industria40.ind.br>

Fonte: Elaboração própria

Construção de novos projetos integradores podem ser propostos aos alunos, como Fresadora Didática; Impressora 3D – Manufatura Aditiva; Integração Robô/Fresadora/Impressora 3D; Estudos de Situações Problema nas Indústrias e Integração Escola/Empresa, como se observa, trata-se de uma nova forma de aprendizagem, atendendo às necessidades da Quarta Revolução Industrial e em particular a robótica

APÊNDICE B - Fichas descritivas dos cursos e disciplinas pesquisados

	CURSO 1
UNIVERSIDADE	MIT - Massachusetts Institute of Technology
LOCAL	CAMBRIDGE - USA
ÁREA/DIVISÃO	Escola de Engenharia
SITE	https://engineering.mit.edu/
CURSO	Introdução à Robótica
FONTE	https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-12-introduction-to-robotics-fall-2005/
COURSE LEVEL	GRADUAÇÃO
	Este curso é uma disciplina eletiva restrita (disciplina profissional)
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Este curso fornece uma visão geral dos mecanismos do robô, dinâmica e controles inteligentes. Os tópicos incluem cinemática planar e espacial e planejamento de movimento; projeto de mecanismos para manipuladores e robôs móveis, dinâmica de corpos rígidos, simulação gráfica em 3D; projeto de controle, atuadores e sensores; rede sem fio, modelagem de tarefas, interface homem-máquina e software incorporado. Os laboratórios semanais fornecem experiência com servoconversores, controle em tempo real e software incorporado. Os alunos projetarão e fabricarão sistemas robóticos de trabalho em um projeto de termo baseado em grupo.

	CURSO 2
UNIVERSIDADE	MIT - Massachusetts Institute of Technology
LOCAL	CAMBRIDGE - USA
ÁREA/DIVISÃO	Engenharia Elétrica e Ciência da Computação
SITE	https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/
CURSO	Robótica subativada
FONTE	https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-832-underactuated-robotics-spring-2009/
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Este curso discute a dinâmica não-linear, e o controle de sistemas mecânicos subativados, com ênfase nos métodos de aprendizado de máquina. Os tópicos incluem dinâmica não linear de robôs passivos (andadores, nadadores, voadores); planejamento de movimento; linearização parcial de <i>feedback</i> ; controle de modelagem de energia; controle analítico; aprendizado por reforço / controle ótimo aproximado; influência do projeto mecânico no controle. As discussões incluem exemplos de biologia; e aplicações para locomoção de pernas; manipulação compatível; robôs subaquáticos; máquinas voadoras.

	COURSE 3
UNIVERSIDADE	MIT - Massachusetts Institute of Technology
LOCAL	CAMBRIDGE - USA
ÁREA/DIVISÃO	Aeronáutica e Astronáutica
SITE	https://ocw.mit.edu/courses/aeronautics-and-astronautics/
CURSO	Robótica Cognitiva
FONTE	https://ocw.mit.edu/courses/aeronautics-and-astronautics/16-412j-cognitive-robotics-spring-2016/
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>Este é um curso sobre como aplicar autonomia a sistemas do mundo real. O tema abrangente que une os diversos tópicos deste curso se concentrará na programação de um robô cognitivo. Esta classe adota a abordagem de introduzir novas técnicas e idéias de raciocínio de forma incremental. Começamos com o paradigma atual de programação com o qual você provavelmente está familiarizado e o evoluímos ao longo do semestre - adicionando continuamente novos recursos e capacidades de raciocínio - terminando com um sistema robusto e inteligente. Essas técnicas e tópicos incluirão algoritmos para permitir que um robô: Monitore a si mesmo quanto a possíveis problemas (observáveis e ocultos), agende tarefas com o tempo, apresentando novos planos para atingir os objetivos desejados ao longo do tempo, lidando com o mundo contínuo, colaborando com outros agentes (autônomos), lidando com riscos e muito mais.</p>

	COURSE 4
UNIVERSIDADE	MIT - Massachusetts Institute of Technology
LOCAL	CAMBRIDGE - USA
ÁREA/DIVISÃO	Engenharia Mecânica
SITE	https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/
CURSO	Projeto de sistemas robóticos eletromecânicos
FONTE	https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-017j-design-of-electromechanical-robotic-systems-fall-2009/
COURSE LEVEL	GRADUAÇÃO
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>Este curso aborda o design, construção e teste de sistemas robóticos de campo, por meio de projetos de equipe com cada aluno responsável por um subsistema específico. Os projetos concentram-se em elementos eletrônicos, instrumentação e máquina. O projeto para operação em condições incertas é um ponto de foco, com as ondas do oceano e as estruturas marinhas como tema central. Os tópicos incluem estatística básica, sistemas lineares, transformadas de Fourier, processos aleatórios, espectros, ética na prática de engenharia e eventos extremos com aplicações em design.</p>

	CURSO 5
UNIVERSIDADE	MIT - Massachusetts Institute of Technology
LOCAL	CAMBRIDGE - USA
ÁREA/DIVISÃO	Curso de Verão de Cérebros, Mentes e Máquinas
SITE	https://ocw.mit.edu/resources/res-9-003-brains-minds-and-machines-summer-course-summer-2015/
CURSO	Robótica
FONTE	https://ocw.mit.edu/resources/res-9-003-brains-minds-and-machines-summer-course-summer-2015/unit-8-robotics/
COURSE LEVEL	estudantes de graduação e pós-graduação avançados
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Os desafios de construir robôs que possam sentir o ambiente, navegar pelo mundo, manipular objetos e aprender com a experiência podem lançar luz sobre como essas tarefas são executadas pelos sistemas biológicos. Uma compreensão mais profunda do processamento sensorio-motor em sistemas biológicos também pode informar o projeto de robôs mais inteligentes. Esta unidade explora alguns dos sucessos, desafios e insights obtidos com os esforços para construir robôs humanóides inteligentes, veículos autônomos e robôs que constroem um modelo da estrutura espacial de objetos e superfícies no ambiente por meio de detecção e exploração inteligentes.

	CURSO 6
UNIVERSIDADE	ECE ILLINOIS
LOCAL	ILLINOIS - USA
ÁREA/DIVISÃO	Engenharia Eletrica & Computação
SITE	https://ece.illinois.edu/
CURSO	ECE 470 - INTRODUÇÃO À ROBÓTICA
FONTE	https://ece.illinois.edu/academics/courses/profile/ECE470
COURSE LEVEL	estudantes de graduação e graduados
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Fundamentos de robótica; incluindo movimentos rígidos; transformações homogêneas; cinemática direta e inversa; cinemática da velocidade; planejamento de movimento; geração de trajetória; percepção; visão de máquina. Este curso serve como eletivo técnico para as áreas de engenharia da computação e engenharia elétrica. O objetivo deste curso é apresentar aos alunos os; conceitos básicos em robótica; que (a) fornecem conhecimentos pré-requisitos para os cursos subsequentes, (b) fornecem conhecimentos essenciais do campo que seriam exigidos por um engenheiro praticante que deve lidar com a; automação e (c) forneça desenvolvimento profissional, introduzindo as melhores práticas; e considerações éticas para o projeto de engenharia. Este curso inclui um componente laboratorial significativo.

CURSO 7	
UNIVERSIDADE	ECE ILLINOIS
LOCAL	ILLINOIS - USA
ÁREA/DIVISÃO	Departamento de Engenharia de Sistemas Industriais e Empresariais
SITE	https://ise.illinois.edu/
CURSO	SE 598 - Robótica Flexível
FONTE	https://ise.illinois.edu/courses/profile/SE598-120178
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	O curso tem assuntos de áreas de conhecimento novas e em desenvolvimento em engenharia geral, destinadas a aumentar o currículo existente. Informações sobre o curso: 1 a 4 horas de pós-graduação. Nenhum crédito profissional.
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Neste curso, os alunos aprenderão importantes conceitos e métodos de simulação em várias escalas, bem como quantificação e propagação de incertezas para resolver vários problemas de engenharia. Os tópicos em consideração neste curso incluem: o Modelo Micromecânico o Simulações Atomísticas o Teoria da Homogeneização Matemática □ Homogeneização com várias escalas □ Problemas unidimensionais □ Problemas multidimensionais □ Formulação de elementos finitos o Método heterogêneo de múltiplas escalas o Método de elementos finitos de múltiplas escalas o Quantificação e propagação de incertezas

CURSO 8	
UNIVERSIDADE	ECE ILLINOIS
LOCAL	ILLINOIS - USA
ÁREA/DIVISÃO	Engenharia Elétrica & Computação
SITE	https://ece.illinois.edu/
CURSO	ECE 550 - ADVANCED ROBOTIC PLANNING
FONTE	https://ece.illinois.edu/academics/courses/profile/ece550
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Abordagens computacionais para o planejamento do movimento do robô, espaço de configuração, decomposições algébricas, campos potenciais artificiais, retração, decomposições aproximadas, planejamento sob incerteza, planejamento de alcance e planejamento em nível de tarefa. Informações do curso: Igual ao AE 583. Pré-requisito: ECE 470.

CURSO 9	
UNIVERSIDADE	UNIVERSITY OF CALIFORNIA AT BERKELEY
LOCAL	CALIFORNIA - USA
ÁREA/DIVISÃO	Engenharia Eletrica e Ciencia da Computação
SITE	https://eecs.berkeley.edu/
CURSO	CS 287: Robótica Avançada
FONTE	https://people.eecs.berkeley.edu/~pabbeel/cs287-fa15/
COURSE LEVEL	graduação
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Aprendizado da matemática; e dos algoritmos sob os sistemas robóticos de ponta. A maioria dessas técnicas é fortemente baseada em; raciocínio probabilístico; e otimização - duas áreas com ampla aplicabilidade na ;Inteligência Artificial moderna. Um efeito colateral pretendido do curso é geralmente fortalecer seus conhecimentos nessas duas áreas.

COURSE 10	
UNIVERSIDADE	UNIVERSITY OF CALIFORNIA AT BERKELEY
LOCAL	CALIFORNIA - USA
ÁREA/DIVISÃO	Engenharia Eletrica e Ciencia da Computação
SITE	https://eecs.berkeley.edu/
CURSO	EE C106A. Introdução à Robótica
FONTE	https://www2.eecs.berkeley.edu/Courses/EEEC106A/
COURSE LEVEL	graduação
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Uma introdução à cinemática, dinâmica e controle de manipuladores de robôs, visão robótica e sensoriamento. O curso aborda a cinemática direta e inversa dos manipuladores de cadeia serial, o manipulador jacobiano, relações de força, dinâmica e controle. Ele apresenta princípios elementares sobre proximidade, detecção tátil e de força, sensores de visão, calibração de câmera, construção estéreo e detecção de movimento. O curso termina com as aplicações atuais da robótica em percepção ativa, robótica médica e outras áreas.

COURSE 11	
UNIVERSIDADE	UNIVERSITY OF CALIFORNIA AT BERKELEY
LOCAL	CALIFORNIA - USA
ÁREA/DIVISÃO	Engenharia Eletrica e Ciencia da Computação
SITE	https://eecs.berkeley.edu/
CURSO	EE C106B. Manipulação e Interação Robótica
FONTE	https://www2.eecs.berkeley.edu/Courses/EEEC106B/
COURSE LEVEL	graduação
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Este curso é uma continuação da Engenharia Elétrica C106A / Bioengenharia C125, que abrange cinemática, dinâmica e controle de um único robô. Este curso abordará a dinâmica e o controle de grupos de manipuladores robóticos, coordenando entre si e interagindo com o ambiente. Os conceitos incluirão uma introdução ao agarrar e à manipulação restrita, contatos e controle de força para interação com o ambiente. Abordaremos também a manipulação guiada pela percepção ativa, bem como a manipulação de objetos não rígidos. Ao longo, enfatizaremos as interações design-humano-robô e aplicativos para aplicações em manufatura, robótica de serviço, tele-cirurgia e locomoção.

CURSO 12	
UNIVERSIDADE	UNIVERSITY OF CALIFORNIA AT BERKELEY
LOCAL	CALIFORNIA - USA
ÁREA/DIVISÃO	Engenharia Eletrica e Ciencia da Computação
SITE	https://eecs.berkeley.edu/
CURSO	CS 294-40 - Aprendizado de robótica e controle
FONTE	https://inst.eecs.berkeley.edu/~cs294-40/fa08/
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Este é um curso avançado de aprendizado de robótica e controle. O objetivo deste curso é ajudar o público com suas pesquisas na aprendizagem de robótica e controle ou tópicos relacionados.
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Uma lista de tópicos inclui: processos de decisão de Markov: iteração de valor, iteração de política, programação linear, Q learning, TD, aproximação de função de valor, aprendizado por reforço inverso; Controle: regulador quadrático linear, programação dinâmica diferencial, controle preditivo de horizonte / modelo em retrocesso; Estimativa: (estendido) filtros Kalman, filtros de partículas, SLAM; Robótica: princípios básicos de vários robôs, sensores, microcontroladores; Exploração / Exploração: bandidos, sem arrependimentos, e ^ 3.

CURSO 13	
UNIVERSIDADE	UNIVERSITY OF CALIFORNIA AT BERKELEY
LOCAL	CALIFORNIA - USA
ÁREA/DIVISÃO	Engenharia Eletrica e Ciencia da Computação
SITE	https://eecs.berkeley.edu/
CURSO	CS 287 / IEOB 290K: Tópicos avançados em robótica
FONTE	https://goldberg.berkeley.edu/courses/S02/287/
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Os algoritmos de robô são abstrações para controlar o movimento e a percepção no mundo físico. Neste curso, estudaremos algoritmos para robótica, incluindo abordagens geométricas para planejamento de movimento, captação, posicionamento, teleoperação, controle, navegação e montagem. Através da leitura e discussão de trabalhos recentes e projetos de alunos, exploraremos uma variedade de tópicos de pesquisa atuais, incluindo robôs on-line e planejamento de cirurgias.
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Vamos apresentar várias palestras introdutórias para fornecer uma base teórica comum. Estudaremos um artigo em profundidade durante cada semana. Cada aluno explorará um tópico em profundidade e também realizará um projeto de pesquisa em pequena escala, como uma simulação de software ou um modelo matemático.

CURSO 14	
UNIVERSIDADE	UNIVERSITY OF MICHIGAN
LOCAL	MICHIGAN - USA
ÁREA/DIVISÃO	Michigan Robotics Courses
CURSO	ROB 501. Matemática para Robotica
FONTE	https://bulletin.engin.umich.edu/courses/robotics-courses/
COURSE LEVEL	pós-graduação ou permissão do instrutor. Recomendação: são recomendadas equações diferenciais e álgebra matricial. (3 créditos)
COURSE DESCRIPTION	Matemática aplicada a engenheiros de robótica. Os tópicos incluem espaços vetoriais, bases ortogonais, teorema da projeção, mínimos quadrados, fatorações matriciais, filtro e extensões de Kalman, filtros de partículas, conceitos probabilísticos subjacentes, normas, sequências convergentes, mapeamentos de contração, algoritmo de Newton Raphson, otimização não-linear, otimização local versus global, programas de convexidade, linear e quadrático e estratégias de busca aleatória.

CURSO 15	
UNIVERSIDADE	UNIVERSITY OF MICHIGAN
LOCAL	MICHIGAN - USA
ÁREA/DIVISÃO	Michigan Robotics Courses
CURSO	ROB 502. Programação para robótica
FONTE	https://bulletin.engin.umich.edu/courses/robotics-courses/
COURSE LEVEL	Graduado
COURSE DESCRIPTION	Curso de programação C e ciência da computação baseado em projetos de nível de pós-graduação para engenheiros robóticos. Os tópicos incluem representação de dados, conceitos de memória, depuração, recursão, pesquisa, abstrações, encadeamento e passagem de mensagens. O aluno médio já terá escrito programas do MATLAB com cerca de 250 a 500 linhas e terá familiaridade básica com a sintaxe C.

CURSO 16	
UNIVERSIDADE	UNIVERSITY OF MICHIGAN
LOCAL	MICHIGAN - USA
ÁREA/DIVISÃO	Michigan Robotics Courses
CURSO	ROB 501. Matemática para Robotica
FONTE	https://bulletin.engin.umich.edu/courses/robotics-courses/
COURSE LEVEL	Graduado
COURSE DESCRIPTION	Uma introdução aos modelos computacionais, algoritmos e sistemas de software para controle autônomo de robôs que se generalizam em uma ampla variedade de máquinas. Os tópicos abordados incluem planejamento de trajetória e movimento, controle reativo, cinemática direta e inversa, integração numérica para dinâmica e middleware para robôs [design]. Programação significativa.

CURSO 17	
UNIVERSIDADE	UNIVERSITY OF MICHIGAN
LOCAL	MICHIGAN - USA
ÁREA/DIVISÃO	Michigan Robotics Courses
CURSO	ROB 550. Laboratório de Sistemas Robóticos
FONTE	https://bulletin.engin.umich.edu/courses/robotics-courses/
COURSE LEVEL	Pré-requisito: pós-graduação ou permissão do instrutor. (4 créditos)
COURSE DESCRIPTION	Curso laboratorial multidisciplinar com exposições a sensoriamento, raciocínio e atuação em sistemas fisicamente incorporados. Introdução à cinemática, localização e mapeamento, planejamento, controle, interfaces de usuário. Projeto, construção, integração e teste de sistemas mecânicos, elétricos e de software. Projetos baseados em uma série de plataformas robóticas: manipuladores, robôs móveis, veículos aéreos ou subaquáticos.

CURSO 18	
UNIVERSIDADE	UNIVERSITY OF TEXAS
LOCAL	TEXAS - USA
ÁREA/DIVISÃO	Departamento de Ciência da Computação
SITE	https://www.cs.utexas.edu/news?page=4
CURSO	CS393R: Robôs Autônomos
FONTE	http://www.cs.utexas.edu/~pstone/Courses/393Rfall18/
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Este curso é uma introdução à robótica autônoma e serve como uma classe principal no Programa de Portfólio de Pós-Graduação em Robótica. Haverá algumas leituras e discussões atribuídas relativas à robótica e sistemas multirrobôs em geral. Os alunos aprenderão como programar os componentes de uma equipe de robôs para jogar futebol de acordo com as regras da liga de plataformas padrão RoboCup, usando os robôs Aldebaran Nao. Todos os alunos aprenderão como programar os robôs diretamente. Os desafios a serem abordados incluirão alguns ou todos os seguintes itens:

CURSO 19	
UNIVERSIDADE	UNIVERSITY OF TEXAS
LOCAL	TEXAS - USA
ÁREA/DIVISÃO	Departamento de Ciência da Computação
SITE	https://www.cs.utexas.edu/news?page=4
CURSO	CS 344R: Robótica
FONTE	http://www.cs.utexas.edu/~pstone/Courses/393Rfall18/
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Um robô é um sistema computacional acoplado ao mundo físico através de seus sensores e efetores. Um robô inteligente aprende sobre seu mundo com a experiência e usa o conhecimento que acumula para fazer melhores planos para alcançar seus objetivos. A robótica é difícil, em parte porque atravessa muitas das fronteiras de abstração que simplificam outras áreas da ciência da computação.
	Este curso tem dois objetivos. Primeiro, são ensinadas várias teorias e técnicas importantes, importantes para a percepção e ação em um mundo parcialmente conhecido. Segundo, os alunos trabalharão em equipe, aplicando esses métodos para obter um comportamento inteligente dos robôs físicos.

CURSO 20	
UNIVERSIDADE	UNIVERSITY OF TEXAS
LOCAL	TEXAS - USA
ÁREA/DIVISÃO	Departamento de Ciência da Computação
SITE	https://www.cs.utexas.edu/news?page=4
CURSO	CS 395T: Robótica Inteligente
FONTE	http://www.cs.utexas.edu/~kuijpers/cs395T-S06.html
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Para que os robôs sejam inteligentes da maneira como as pessoas são inteligentes, eles terão que aprender sobre seu mundo e sua própria capacidade de interagir com ele, assim como as pessoas. Este seminário de pesquisa investigará novas direções de pesquisa no aprendizado de robôs.
	Este é um seminário de pesquisa, cujo objetivo primeiro é levá-lo ao estado da arte e, em seguida, ajudá-lo a fazer um projeto e um artigo de qualidade publicável. Haverá uma quantidade significativa de leituras e discussões de trabalhos de pesquisa recentes que serão distribuídos.

CURSO 21	
UNIVERSIDADE	UNIVERSITY OF TEXAS
LOCAL	TEXAS - USA
ÁREA/DIVISÃO	Departamento de Ciência da Computação
SITE	https://www.cs.utexas.edu/news?page=4
CURSO	ROBÔS AUTÔNOMOS
FONTE	https://cns.utexas.edu/component/cobalt/item/1425-autonomous-intelligent-robotics?Itemid=1971
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	O objetivo deste é criar um sistema de robôs totalmente autônomos dentro do novo complexo Gates para ajudar as pessoas dentro do edifício. Os alunos aprenderão e contribuirão para pesquisas de ponta em inteligência artificial e robótica.
	Os alunos da Autônoma Intelligent Robotics estão projetando software para um sistema de robôs que existirá no novo Complexo de Ciência da Computação Bill e Melinda Gates. O objetivo do fluxo é permitir que robôs e agentes de software associados interajam com visitantes e residentes da construção.

CURSO 22	
UNIVERSIDADE	UNIVERSITY OF TEXAS
LOCAL	TEXAS - USA
ÁREA/DIVISÃO	Departamento de Ciência da Computação
SITE	https://www.cs.utexas.edu/news?page=4
CURSO	CS 309: Robótica Inteligente Autônoma (FRI I e II)
FONTE	http://www.cs.utexas.edu/~jsinapov/teaching/cs309_spring2017/
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	O foco do curso I é a pesquisa envolvendo robôs inteligentes e autônomos. Em particular, os tópicos específicos abordados neste semestre incluirão interação homem-robô, percepção computacional e robótica de desenvolvimento. Durante o semestre, os alunos usarão os robôs móveis que atualmente fazem parte do projeto Building Wide Intelligence (BWI). A idéia é ter uma inteligência generalizada em todo o edifício, na forma de robôs que executam uma variedade de tarefas, como levar as pessoas aos seus destinos ou localizar uma pessoa no edifício. O principal objetivo deste curso é concluir um pequeno projeto de pesquisa, aprimorando as habilidades do atual sistema de BWI. A participação nas discussões em classe também fará parte significativa da nota. As reuniões de classe consistirão em discussões baseadas nas leituras atribuídas e atualizações sobre o andamento do projeto. Leituras: Não há livro didático para este curso. Em vez disso, os trabalhos de pesquisa relevantes serão inicialmente designados e, posteriormente, escolhidos pelos alunos, seguindo os tópicos do projeto.
	Como o segundo curso na sequência da FRI, o objetivo é concluir um projeto de pesquisa maior que aprimore as habilidades de nossos robôs e tenha o potencial de contribuir para pesquisas originais conduzidas em laboratório. A participação nas discussões em classe também fará parte significativa da nota. As reuniões de classe consistirão em discussões baseadas nas leituras atribuídas e atualizações sobre o andamento do projeto

CURSO 23	
UNIVERSIDADE	CARNEGIE MELLON UNIVERSITY
LOCAL	Pittsburgh
ÁREA/DIVISÃO	THE ROBOTICS INSTITUTE
SITE	https://www.ri.cmu.edu/
CURSO	16-623 Aplicativos avançados de visão computacional
FONTE	https://www.ri.cmu.edu/education/courses/
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>A visão computacional é uma disciplina que tenta extrair informações de imagens e vídeos. Quase todos os dispositivos inteligentes do planeta têm uma câmera, e as pessoas estão cada vez mais interessadas em desenvolver aplicativos que usam a visão computacional para executar uma lista cada vez maior de coisas, incluindo: mapeamento 3D, pesquisa de foto / imagem, rastreamento de pessoas / objetos, realidade aumentada etc. Este curso é destinado a estudantes de graduação que estão familiarizados com a visão por computador e desejam aprender mais sobre a aplicação de métodos de visão de última geração em dispositivos inteligentes e sistemas embarcados. Uma sólida experiência em programação é essencial (com um bom conhecimento mínimo de C / C ++), os tópicos incluirão o uso de ferramentas convencionais de software de visão computacional (OpenCV, caixas de ferramentas MATLAB, VLFeat, CAFFE, Torch 7) e desenvolvimento em dispositivos iOS usando visão móvel bibliotecas como GPUImage, Metal e bibliotecas matemáticas rápidas como Armadillo e Eigen. Para maior consistência, todo o desenvolvimento de aplicativos será no iOS e espera-se que todos os alunos que participem da aula tenham acesso a um MAC baseado em Intel executando o OS X Mavericks ou posterior. Embora os cursos se concentrem em um único sistema operacional, o conhecimento adquirido com essa classe será facilmente generalizado para outras plataformas móveis, como Android, etc.</p>

CURSO 24	
UNIVERSIDADE	CARNEGIE MELLON UNIVERSITY
LOCAL	Pittsburgh
ÁREA/DIVISÃO	THE ROBOTICS INSTITUTE
SITE	https://www.ri.cmu.edu/
CURSO	16-642 Manipulação, Estimativa e Controle
FONTE	https://www.ri.cmu.edu/education/courses/
COURSE LEVEL	Apenas alunos MRSD Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>Este curso fornece uma visão geral das técnicas atuais que permitem que os robôs se locomovem e interajam com o mundo. A cinemática e dinâmica dos sistemas eletromecânicos serão abordadas com um foco particular em sua aplicação a braços robóticos. Alguns princípios básicos do controle do robô serão discutidos, desde o rastreamento PID de articulação independente até abordagens de torque computado acopladas. A prática e a teoria da mobilidade robótica serão investigadas através de várias plataformas de robôs móveis, incluindo veículos com rodas e rastreados e robôs de pernas. A experiência prática com alguns dos tópicos da classe será fornecida por meio de demonstrações práticas e tarefas de laboratório. Observe que este curso é apenas para estudantes de MRSD.</p>

CURSO 25	
UNIVERSIDADE	CARNEGIE MELLON UNIVERSITY
LOCAL	Pittsburgh
ÁREA/DIVISÃO	THE ROBOTICS INSTITUTE
SITE	https://www.ri.cmu.edu/
CURSO	16-650 Engenharia e Gerenciamento de Sistemas para Robótica
FONTE	https://www.ri.cmu.edu/education/courses/
COURSE LEVEL	Apenas alunos MRSD Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>Praticamente tudo ao nosso redor é um sistema - desde o telefone celular no seu bolso até o Sistema Espacial Internacional no céu. Quanto maior a complexidade do sistema, mais seus criadores se beneficiam da aplicação de processos formais aos seus processos de desenvolvimento, conhecidos coletivamente sob a "engenharia de sistemas". A Engenharia de Sistemas é uma disciplina formal que guia um produto desde a concepção e o design de todo o processo. caminho para a produção, comercialização, manutenção e descarte. Neste curso, estudaremos os elementos fundamentais da engenharia de sistemas que se aplicam ao desenvolvimento de sistemas robóticos. Abordaremos tópicos como análise de necessidades, elicitação e formalização de requisitos, desenvolvimento da arquitetura do sistema, estudos comerciais, verificação e validação, etc. Além disso, neste curso, abordaremos os principais tópicos do Gerenciamento de Projetos que devem ser executados em conjunto com a Engenharia de Sistemas para alcançar um projeto e produto de sucesso. Para o gerenciamento de projetos, abordaremos as estruturas de detalhamento do trabalho, programação, estimativa e gerenciamento de riscos. Estudaremos métodos clássicos e ágeis em gerenciamento de projetos. Os alunos aplicarão a maioria dos elementos deste curso nos cursos I e II do projeto MRSD, dando-lhes a oportunidade de colocar a teoria em prática em uma atividade real de design de produto. Observe que este curso é apenas para estudantes de MRSD. (Exemplos de projetos anteriores: http://mrsd.ri.cmu.edu/project-examples/)</p>

CURSO 26	
UNIVERSIDADE	CARNEGIE MELLON UNIVERSITY
LOCAL	Pittsburgh
ÁREA/DIVISÃO	THE ROBOTICS INSTITUTE
SITE	https://www.ri.cmu.edu/
CURSO	16-662 Autonomia do robô
FONTE	https://www.ri.cmu.edu/education/courses/
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>A autonomia do robô investiga a interação entre percepção, manipulação, navegação, planejamento e aprendizado necessária para desenvolver sistemas totalmente autônomos. Vamos nos concentrar em domínios de aplicativos, como residências, varejo e assistência médica, e identificar temas comuns e principais gargalos. Discutiremos os algoritmos de última geração, seus requisitos computacionais e de hardware e suas limitações. Para permitir que você crie sistemas de ponta a ponta, você aprenderá como lidar com a confusão e a incerteza nas tarefas de manipulação, desenvolver algoritmos robustos de reconhecimento de objetos em cenas do mundo real, planejar trajetórias de robôs em espaços de alta dimensão, criar mecanismos de comportamento para alta tarefas de nível superior e aprenda a aplicar e conectar essas para criar um sistema de robô autônomo. O curso enfatiza a implementação dos algoritmos discutidos em aula na simulação através de tarefas de casa, bem como em sistemas reais em um projeto de aula.</p>

CURSO 27	
UNIVERSIDADE	CARNEGIE MELLON UNIVERSITY
LOCAL	Pittsburgh
ÁREA/DIVISÃO	THE ROBOTICS INSTITUTE
SITE	https://www.ri.cmu.edu/
CURSO	16-711 Cinemática, Sistemas Dinâmicos e Controle
FONTE	https://www.ri.cmu.edu/education/courses/
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Cinemática, Sistemas Dinâmicos e Controle é uma introdução de nível de pós-graduação à robótica. O curso abrange conceitos e métodos fundamentais para analisar, modelar e controlar mecanismos robóticos que se movem no mundo físico e o manipulam. Os principais tópicos incluem os fundamentos da cinemática, dinâmica e controle aplicados à cinemática, dinâmica e controle de cadeias rígidas do corpo. Os tópicos adicionais incluem estimativa de estado e identificação dinâmica de parâmetros.

CURSO 28	
UNIVERSIDADE	CARNEGIE MELLON UNIVERSITY
LOCAL	Pittsburgh
ÁREA/DIVISÃO	THE ROBOTICS INSTITUTE
SITE	https://www.ri.cmu.edu/
CURSO	16-720 Visão por Computador
FONTE	https://www.ri.cmu.edu/education/courses/
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Este curso apresenta as técnicas fundamentais utilizadas na visão computacional, ou seja, a análise de padrões em imagens visuais para reconstruir e entender os objetos e cenas que os geraram. Os tópicos abordados incluem formação e representação de imagens, geometria da câmera e calibração, imagem computacional, geometria de múltiplas visualizações, estéreo, reconstrução 3D a partir de imagens, análise de movimento, visão baseada em física, segmentação de imagens e reconhecimento de objetos. O material é baseado em textos de pós-graduação, acrescidos de trabalhos de pesquisa, conforme apropriado. A avaliação é baseada em trabalhos de casa e em um projeto final. Os trabalhos de casa envolvem consideráveis exercícios de programação Matlab.

CURSO 29	
UNIVERSIDADE	CARNEGIE MELLON UNIVERSITY
LOCAL	Pittsburgh
ÁREA/DIVISÃO	THE ROBOTICS INSTITUTE
SITE	https://www.ri.cmu.edu/
CURSO	16-722 Sensores
FONTE	https://www.ri.cmu.edu/education/courses/
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Os princípios e práticas de percepção quantitativa (sensoriamento) ilustrados pelos dispositivos e algoritmos (sensores) que os implementam. Aprenda a examinar criticamente os requisitos de detecção das aplicações de robótica, a especificar as características necessárias do sensor, a analisar se essas especificações podem ser cumpridas mesmo em princípio, a comparar o que pode ser realizado em princípio com o que pode realmente ser adquirido ou construído, para entender as fatores de engenharia que respondem pelas discrepâncias e projetar sistemas de transdução, digitalização e computação que se aproximem de maneira tolerável da capacidade real de obter os sensores disponíveis. A classificação será baseada em tarefas de casa, participação nas aulas e um exame final. Três ou quatro das tarefas de casa serão "laboratórios para levar em casa", feitos com um kit Arduino que os alunos comprarão em vez de comprar um livro didático. Os módulos de nível superior abrangem (1) sensores, sinais e ciência das medições, (2) origens, natureza e melhoria do ruído, (3) sistemas de detecção de ponta a ponta, (4) câmeras e outros sensores de imagem e sistemas, (5) sensoriamento e geração de imagens, (6) sensores e sistemas de navegação, (7) outros tópicos de interesse da classe (conforme o tempo permitir).

CURSO 30	
UNIVERSIDADE	CARNEGIE MELLON UNIVERSITY
LOCAL	Pittsburgh
ÁREA/DIVISÃO	THE ROBOTICS INSTITUTE
SITE	https://www.ri.cmu.edu/
CURSO	16-741 Mecânica da Manipulação
FONTE	https://www.ri.cmu.edu/education/courses/
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Cinemática, estática e dinâmica da interação do manipulador robótico com uma tarefa, com foco no uso inteligente de restrições cinemáticas, gravidade e forças de atrito. Planejamento automático baseado em mecânica. Exemplos de aplicação extraídos de manufatura e outros domínios.

CURSO 31	
UNIVERSIDADE	CARNEGIE MELLON UNIVERSITY
LOCAL	Pittsburgh
ÁREA/DIVISÃO	THE ROBOTICS INSTITUTE
SITE	https://www.ri.cmu.edu/
CURSO	16-748 robôs sub-atuados
FONTE	https://www.ri.cmu.edu/education/courses/
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>Esta aula apresentará conceitos de um amplo espectro de otimização restrita, planejamento de movimento ideal e viável, além de aprendizado de máquina, tudo no contexto de controle de sistemas robóticos complexos e contemporâneos. Os sistemas específicos nos quais focaremos incluem exemplos nominais da literatura de controle não-linear (por exemplo, o pêndulo simples restrito, o acrobata, o carrinho de pólo etc.) até os sistemas híbridos que constituem a maior parte dos principais trabalhos sobre humanóides robôs (por exemplo, andarilho da bússola, modelo SLIP etc.). O material do curso consistirá principalmente de notas de aula, bem como trabalhos semanais da literatura sobre robótica. No final desta aula, você será capaz de entender, implementar e adaptar prontamente métodos que abrangem um amplo espectro que inclui a teoria de controle ideal e o aprendizado por reforço. Pessoas e animais se movem e interagem com o mundo de uma maneira fundamentalmente dinâmica. Na grande maioria dos casos, o mesmo não pode ser dito para os robôs. De fato, muitas abordagens convencionais ao planejamento de movimento e controle de robôs tentam cancelar explicitamente a dinâmica associada a diferentes tarefas. Esta classe considerará os robôs sub-atuados, sistemas que não têm controle total sobre seu estado e, portanto, não podem ser planejados ou controlados por métodos convencionais. Nosso objetivo será fazer com que os novos robôs locomotores atuem de maneira mais natural. Esta classe destacará a relação entre as idéias convencionais do planejamento determinístico do movimento e do design de controle (por exemplo, programação dinâmica e reguladores linear-quadráticos) e suas contrapartes contemporâneas, muitas das quais ajudam a formar a base analítica para o raciocínio probabilístico subjacente aos sistemas de IA contemporâneos (por exemplo, POMDPs). Observe que este curso é inspirado e, na maioria das vezes, seguirá o formato de Robótica subativada: aprendizado, planejamento e controle de máquinas eficientes e ágeis, criadas pelo Prof. Russ Tedrake no MIT. Tomaremos várias tangentes, mas os materiais do curso fornecidos pelo Prof. Tedrake através do MIT Open Courseware são um recurso incrível para este curso (e realmente apenas em geral).</p>

CURSO 32	
UNIVERSIDADE	CARNEGIE MELLON UNIVERSITY
LOCAL	Pittsburgh
ÁREA/DIVISÃO	THE ROBOTICS INSTITUTE
SITE	https://www.ri.cmu.edu/
CURSO	16-761 Introdução aos robôs móveis
FONTE	https://www.ri.cmu.edu/education/courses/
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>Este curso abrange todos os aspectos do projeto e programação de sistemas de robôs móveis, tanto do ponto de vista teórico quanto prático. Os subsistemas básicos de controle, localização, mapeamento, percepção e planejamento são apresentados. Para cada uma, a discussão incluirá métodos relevantes da matemática aplicada, aspectos da física necessários na construção de modelos de comportamento do sistema e do ambiente e algoritmos principais que provaram ser valiosos em uma ampla gama de circunstâncias.</p>

CURSO 33	
UNIVERSIDADE	Georgia Institute of Technology
LOCAL	Georgia USA
ÁREA/DIVISÃO	Georgia Institute of Technology
SITE	https://www.cc.gatech.edu/
CURSO	CS 3630 Introdução à Robótica e Percepção
FONTE	https://www.cc.gatech.edu/~seth/Teaching/cs3630/index2018.php
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Nesta aula, usaremos o problema geral da navegação de robôs móveis baseados em sensores para: introduzir problemas característicos na robótica; derivar modelos matemáticos para esses problemas; desenvolver algoritmos que apliquem esses modelos matemáticos para resolver problemas de robótica; implementar e testar esses algoritmos em um pequeno robô móvel. O curso não se destina a fornecer uma cobertura detalhada da robótica, mas sim a fornecer uma visão geral do campo - uma espécie de menu de degustação para robótica.

CURSO 34	
UNIVERSIDADE	Georgia Institute of Technology
LOCAL	Georgia USA
ÁREA/DIVISÃO	Georgia Institute of Technology
SITE	https://www.cc.gatech.edu/
CURSO	CS 7638: Inteligência Artificial em Robótica
FONTE	https://www.omscs.gatech.edu/cs-7638-artificial-intelligence-robotics
COURSE LEVEL	Graduação
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Em Inteligência Artificial para Robótica, aprenda com Sebastian Thrun, líder da equipe de direção autônoma do Google e Stanford, como programar todos os principais sistemas de um carro robótico. Esta aula ensinará aos alunos métodos básicos de Inteligência Artificial, incluindo inferência probabilística, planejamento e pesquisa, localização, rastreamento, mapeamento e controle, todos com foco em robótica. Exemplos e tarefas de programação abrangentes aplicarão esses métodos no contexto da construção de carros autônomos e veículos autônomos.

CURSO 35	
UNIVERSIDADE	Georgia Institute of Technology
LOCAL	Georgia USA
ÁREA/DIVISÃO	Georgia Institute of Technology
SITE	https://www.cc.gatech.edu/
CURSO	CS 7630: Robótica Autônoma
FONTE	https://www.cc.gatech.edu/classes/AY2014/cs7630_spring/
COURSE LEVEL	Graduação
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Uma pesquisa sobre robótica autônoma, vista de várias disciplinas e aplicada em inteligência artificial. A neurociência e a psicologia cognitiva são estudadas como fonte de paradigmas para a autonomia das máquinas. Várias questões cibernéticas serão exploradas a partir de um ponto de vista multidisciplinar. A visão computacional de alto nível e outras modalidades de sensores e sua aplicação à robótica inteligente também serão estudadas nesse contexto.

CURSO 36	
UNIVERSIDADE	Georgia Institute of Technology
LOCAL	Georgia USA
ÁREA/DIVISÃO	Georgia Institute of Technology
SITE	https://www.cc.gatech.edu/
CURSO	ME 6407: Robótica
FONTE	http://me.gatech.edu/graduate/courses/me6407
COURSE LEVEL	Graduação
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	Cursos mais avançados em dinâmica, controles automáticos ou cinemática darão ao aluno uma compreensão mais completa e algumas vantagens no trabalho de alguns problemas. Análise e projeto de sistemas robóticos, incluindo armas e veículos. Cinemática e dinâmica. Algoritmos para descrever, planejar, comandar e controlar a força de movimento.

CURSO 37	
UNIVERSIDADE	UNIVERSITY OF TORONTO
LOCAL	Toronto - Canada
SITE	https://www.utoronto.ca
CURSO	CSC477: Introduction to Mobile Robotics
FONTE	https://www.utoronto.ca/search?query=%22robotics+course%22
COURSE LEVEL	Graduação
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>Este curso fornece uma introdução aos sistemas robóticos de uma perspectiva computacional. Um robô é considerado um computador inteligente que pode usar sensores e agir no mundo.</p> <p>Consideraremos os problemas de definição em robótica e veremos como eles estão sendo resolvidos na prática e pela comunidade de pesquisa. A ênfase está nos algoritmos, no raciocínio probabilístico, na otimização, nos mecanismos de inferência e nas estratégias de comportamento, em oposição ao projeto de sistemas eletromecânicos. Este curso tem como objetivo ajudar os alunos a melhorar suas habilidades de modelagem probabilística e instilar a ideia de que um robô que explique explicitamente sua incerteza funciona melhor do que um robô que não.</p>

CURSO 38	
UNIVERSIDADE	UNIVERSITY OF TORONTO
LOCAL	Toronto - Canada
SITE	https://www.utoronto.ca
CURSO	Aprendizado de imitação para robótica, CSC2621
FONTE	http://www.cs.toronto.edu/~florian/courses/imitation_learning/
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>Nas próximas décadas, testemunharemos milhões de pessoas, de várias origens e níveis de conhecimento técnico, que precisam interagir efetivamente com tecnologias robóticas diariamente.</p> <p>Como tal, as pessoas precisarão modificar o comportamento de seus robôs sem escrever explicitamente o código, mas fornecendo apenas um pequeno número de demonstrações cinestésicas ou visuais. Ao mesmo tempo, os robôs devem tentar inferir e prever as intenções e objetivos internos do ser humano a partir de interações passadas, a fim de prestar assistência antes que seja explicitamente solicitado. Este curso de seminário de nível de pós-graduação examinará alguns dos artigos mais importantes no aprendizado de imitação para controle de robôs, colocando mais ênfase nos desenvolvimentos nos últimos 10 anos. Seu objetivo é familiarizar os alunos com as fronteiras desta área de pesquisa, ajudá-los a identificar problemas em aberto e permitir que eles façam uma nova contribuição.</p>

CURSO 39	
UNIVERSIDADE	TOHOKE UNIVERSITY
LOCAL	JAPAN
CURSO	TESP 2018 Fourplay: Robotics, EEE, SMEC, BMEC
FONTE	https://www.tohoku.ac.jp/en/news/university_news/TESP_2018.html
COURSE LEVEL	Graduação
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>Por quase uma década, o Programa de Verão de Engenharia da Universidade de Tohoku (TESP) tem sido um evento anual muito esperado. Este ano, a TESP recebeu 78 participantes de instituições em todo o mundo - o seu maior número até o momento. Ancorado pela robótica, liderada pelo professor Kazuya Yoshida e por alguns dos maiores nomes da pesquisa em robótica, o escopo da TESP vem se expandindo a cada ano, aproximando-se cada vez mais de seu objetivo de integrar as cinco divisões da Escola de Engenharia. Atualmente, existem quatro cursos - Robótica, Engenharia Elétrica e Eletrônica (EEE), Engenharia de Materiais Estruturais (SMEC) e a estreante deste ano a Engenharia de Biomateriais (BMEC). Cada curso inclui palestras, projetos práticos de laboratório, oficinas de cultura e visitas de estudo.</p> <p>A robótica apresenta um currículo projetado para oferecer aos participantes uma ampla amostra de diferentes aplicações. Inclua robótica de campo, resgate e espaço, robótica molecular e interface háptica.</p>

CURSO 40	
UNIVERSIDADE	ITMO UNIVERSITY
LOCAL	Saint Petersburg - Russia
ÁREA/DIVISÃO	Faculty of Control Systems and Robotics
SITE	https://en.itmo.ru/en/searchform/search.htm
CURSO	Modelagem e Controle de Sistemas Robóticos
FONTE	https://en.itmo.ru/en/searchform/search.htm
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>A Faculdade de Sistemas de Controle e Robótica é a primeira unidade de pesquisa da Universidade ITMO a se concentrar principalmente no campo da robótica. A Faculdade atua como parte da Escola de Tecnologias e Controle de Computadores e treina engenheiros profissionais. Os graduados são especializados em áreas como Robótica, Sistemas de Controle Automático, Engenharia de Potência, Sistemas de Navegação e Mecatrônica e Instrumentação.</p>

CURSO 41	
UNIVERSIDADE	UNIVERSITY OF OXFORD
LOCAL	OXFORD - ENGLAND
ÁREA/DIVISÃO	Centro EPSRC de Formação Doutoral
SITE	http://www.ox.ac.uk/
CURSO	Máquinas e sistemas inteligentes autônomos
FONTE	https://www.ox.ac.uk/admissions/graduate/courses/autonomous-intelligent-machines-and-systems?wssl=1
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>O DPhil oferecido pelo CDT oferece aos graduados a oportunidade de desenvolver profundo conhecimento, compreensão e experiência em sistemas inteligentes autônomos. O programa fornece uma visão abrangente e de ponta dos sistemas inteligentes autônomos, combinando fundamentos teóricos, pesquisa de sistemas, treinamento acadêmico e projetos iniciados pelo setor, combinando aspectos práticos e teóricos de máquinas e sistemas inteligentes.</p> <p>Para este curso, a alocação da supervisão de graduação é de responsabilidade do Departamento de Ciências de Engenharia e / ou Departamento de Ciência da Computação e nem sempre é possível acomodar as preferências dos estudantes de pós-graduação para trabalhar com um membro específico da equipe. Sob circunstâncias excepcionais, um supervisor pode ser encontrado fora do Departamento de Ciência da Engenharia e do Departamento de Ciência da Computação.</p>

CURSO 42	
UNIVERSIDADE	Universidade de Padua
LOCAL	ITALY
ÁREA/DIVISÃO	Engenharia de Sistemas de Controle - estudantes para a indústria 4.0
SITE	https://www.unipd.it/en/research/departments
CURSO	Mestrado em Engenharia de Sistemas de Controle
FONTE	www.unipd.it/en/tuition-fees
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>O mestrado visa treinar engenheiros com a capacidade de modelar, analisar e controlar o comportamento de uma ampla variedade de sistemas e redes de robótica, industrial, financeira, biológica e de informação. Ênfase particular é dada aos métodos de aprendizado e design que empregam os melhores métodos de análise de dados disponíveis, inteligência artificial e otimização.</p> <p>Área de Estudo: Engenharia de Automação - 1 - Robótica: modelos e técnicas de controle para sistemas únicos ou em grupo de ciber-sistemas em interação; 2 - Aprendizado de Máquina: inteligência artificial e métodos estatísticos para modelos dinâmicos de aprendizado automático e as melhores maneiras de controlá-los; 3 - Automação Industrial: métodos e tecnologias utilizadas em sistemas de automação industrial de ponta; 4 - Sistemas Complexos: técnicas avançadas de modelagem e controle para engenharia e pesquisa em sistemas complexos de processamento físico, biológico e de informação.</p>

	CURSO 43
UNIVERSIDADE	Centro Universitário FEI
LOCAL	São Bernardo do Campo - SP - Brasil
ÁREA/DIVISÃO	Engenharia com foco no projeto e desenvolvimento de robôs e sistemas robóticos
SITE	https://portal.fei.edu.br/
CURSO	Curso de engenharia de robôs
COURSE LEVEL	GRADUAÇÃO
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>Projetar, especificar, construir, manter e desenvolver robôs. Possuir caráter multidisciplinar, com formação envolvendo as áreas de mecânica, eletrônica, computação e automação e controle. O profissional deverá atuar principalmente no projeto, especificação, desenvolvimento e construção de robôs manipuladores, móveis, autônomos e inteligentes, sejam eles industriais, comerciais, domésticos, de serviço ou para entretenimento.</p>
	<p>Conhecimentos sólidos em Engenharia e matemática, Visão global e interdisciplinar da robótica, de suas amplas abordagens e áreas de aplicação</p>
	<p>Domínio dos fundamentos teóricos que envolvem a robótica e os robôs atuais, visão crítica, criativa, inovadora na identificação dos problemas e de suas soluções baseado nos princípios científicos e na pesquisa científica e tecnológica.</p>
	<p>Compreensão da necessidade de aprendizado contínuo para aprimoramento de suas competências e habilidades, de seu raciocínio lógico, bem como demais capacidades, habilidades e aptidões.</p>

CURSO 44	
UNIVERSIDADE	FIAP - Faculdade de Informática e Administração Paulista
LOCAL	São Paulo - SP - Brasil
ÁREA/DIVISÃO	Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina
SITE	https://www.fiap.com.br/
CURSO	Engenharia Mecatrônica
COURSE LEVEL	PÓS GRADUAÇÃO
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>Projetar e simular sistemas autônomos usando o conceito de digital twins. Construir dispositivos mecatrônicos utilizando tecnologias, metodologias e conteúdos disruptivos como: Nanotecnologia, Automação, Robôs Autônomos, Robôs Biomiméticos, Sensores, Modelagem e Prototipação 3D, Inteligência Artificial, Mechanical Design, Microcontroladores, Segurança da Informação, Internet das Coisas, Programação Mobile e Energias Alternativas.</p>
	<p>ROBÓTICA APLICADA Desenvolvimento de soluções automatizadas utilizadas na indústria, utilizando Controladores Lógicos Programáveis e Linguagem Ladder. Automação de processos industriais contínuos e discretos e robótica. Uso de sensores e atuadores, controladores, clps, sistemas scada e automação em rede</p>
	<p>AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL - Sistemas de automação e controle utilizados na indústria, abrangendo o estudo dos diferentes tipos de sensores, da lógica de relés, da programação de CLP (Controlador Lógico Programável), do funcionamento e forma de acionamento de motores elétricos, dispositivos pneumáticos e hidráulicos e da aplicação da robótica na indústria. Estudo de comandos elétricos e lógica de relés, intertravamento de funções, lógica de retenção de estado e acionamento de elementos de potência através de contatores e válvulas solenóides</p>
	<p>ROBÓTICA INDUSTRIAL Tipos de robôs industriais, suas estruturas mecânicas, transmissões, elementos terminais e sensores para robótica. Desta forma, o aluno estará apto a dimensionar e selecionar robôs industriais para uma aplicação real. Estudo da cinemática, cinemática inversa e dinâmica de robôs, de forma a mostrar ao aluno toda a complexidade matemática no sistema de controle de robôs industriais. Esta disciplina também faz uso do laboratório de robótica para prática de programação e simulação de atividades industriais</p>

CURSO 45	
UNIVERSIDADE	Instituto Mauá de Tecnologia
LOCAL	São Caetano do Sul - SP - Brasil
ÁREA/DIVISÃO	Engenharia
SITE	https://maua.br/
CURSO	Engenharia de Controle e Automação
COURSE LEVEL	GRADUAÇÃO
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>Oferece ao estudante de Engenharia de Controle e Automação uma formação que permeia as áreas de mecânica, eletrônica e computação, para atuar e desenvolver-se em novas áreas, além dos conceitos fundamentais da Engenharia.</p> <p>máquinas e dispositivos inteligentes; robótica; sistemas autônomos; integração de sistemas automatizados; automação da manufatura; automação predial; controle de processos, entre outras.</p>

CURSO 46	
UNIVERSIDADE	Virginia tech
LOCAL	VIRGINIA - USA
ÁREA/DIVISÃO	College of Engineering
SITE	https://eng.vt.edu/
CURSO	ECE 5704 - Robótica e Automação
FONTE	https://ece.vt.edu/grad/courses/5704
COURSE LEVEL	Graduado
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>Este curso é essencial para preparar adequadamente os alunos de pós-graduação para realizar com êxito a pesquisa em robótica;, fornecendo base na teoria e prática da robótica apropriada para os alunos de pós-graduação;, incorporando palestras sobre a teoria do robô;, leituras sobre a atual pesquisa em robótica; e laboratórios em robôs móveis e manipuladores robóticos. O curso abordará tópicos mais avançados e tratamento mais rigoroso de vários tópicos;, como a cinemática da orientação; e o método Newton-Euler da dinâmica dos robôs.</p>

CURSO 47	
UNIVERSIDADE	Virginia tech
LOCAL	VIRGINIA - USA
ÁREA/DIVISÃO	College of Engeneering
SITE	https://eng.vt.edu/
CURSO	ECE 4704 - Princípios de sistemas robóticos
FONTE	https://ece.vt.edu/undergrad/courses/4704
COURSE LEVEL	Graduação
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>Este curso apresenta aos alunos a operação de manipuladores robóticos e outros sistemas de automação. Dá aos estudantes de engenharia elétrica uma sólida formação no controle de dispositivos mecânicos; bem como na aplicação de uma variedade de sensores e atuadores. Uma abordagem em nível de sistema também facilita os estudos aplicados em planejamento, automação e inteligência. Além disso, o curso destina-se a informar os alunos interessados sobre as atuais questões de pesquisa; e implementação no campo da robótica e automação; que são comumente encontradas apenas em cursos de engenharia elétrica de nível de pós-graduação.</p>

CURSO 48	
UNIVERSIDADE	HAVARD UNIVERSITY
LOCAL	CAMBRIDGE - USA
ÁREA/DIVISÃO	Departamento de Ciências de Engenharia
SITE	https://www.harvard.edu/
CURSO	Introdução à Robótica
FONTE	https://locator.tit.harvard.edu/course/colgsas-131554/2019/spring/20338
COURSE LEVEL	Graduação
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>Introdução aos manipuladores robóticos controlados por computador. Os tópicos incluem quadros de coordenadas e transformações, estrutura e soluções cinemáticas, estática e dinâmica de manipuladores de cadeia serial e paralela, controle e programação, introdução ao planejamento de caminhos, introdução à teleoperação, design de robôs e dispositivos de atuação e detecção. Os exercícios de laboratório fornecem experiência com programação e simulação de robôs industriais e controle</p>

CURSO 49	
UNIVERSIDADE	HAVARD UNIVERSITY
LOCAL	CAMBRIDGE - USA
ÁREA/DIVISÃO	Departamento de Ciências de Engenharia
SITE	https://www.harvard.edu/
CURSO	Sistemas de robôs autônomos
FONTE	https://canvas.harvard.edu/courses/65155
COURSE LEVEL	Graduação
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>Construir sistemas robóticos autônomos exige entender como criar robôs que observam, raciocinam e agem. Cada componente usa muitos princípios de engenharia: como fundir vários sensores ruidosos; como equilibrar objetivos de curto e longo prazo; como controlar as ações de uma pessoa e como coordenar com outras pessoas. O tema deste ano será "Robots Roam the Halls", onde focaremos nos robôs baseados no kinect que se movem nos prédios do SEAS, para fazer aplicações como navegação, construção de mapas e interação com as pessoas. O formato da aula terá um formato misto de palestra e laboratório e um componente final do projeto.</p>

CURSO 50	
UNIVERSIDADE	COLUMBIA
LOCAL	
ÁREA/DIVISÃO	engenharia mecânica
SITE	
CURSO	automação (robôs, aquisição de dados / imagens, reconhecimento e controle);
FONTE	https://bulletin.engineering.columbia.edu/mechanical-engineering
COURSE LEVEL	Graduação
DESCRIÇÃO DO CURSO (COURSE DESCRIPTION)	<p>Controle, Robótica, Design e Fabricação; Controle Iterativo de Aprendizagem (ILC) O controle iterativo de aprendizagem cria controladores que aprendem com a experiência anterior executando um comando específico, como robôs em uma linha de montagem, visando movimentos mecânicos de alta precisão; Controle Repetitivo (RC). o controle repetitivo aprende a cancelar distúrbios repetitivos, como movimento de precisão através de engrenagens, usinagem, apontamento de precisão de satélite, aceleradores de partículas, etc.O controle ótimo de tempo dos robôs está sendo estudado para aumentar a produtividade nas linhas de montagem através do planejamento dinâmico de movimentos</p>

APÊNDICE C – Projetos e Exemplos da Educação 4.0

CARNEGIE MELLON UNIVERSITY

16-623 Aplicativos Avançados de Visão Computacional

Pós-Graduação

<https://www.ri.cmu.edu/education/courses/>

16-642 Manipulação, Estimativa e Controle

Pós-Graduação

<https://www.ri.cmu.edu/education/courses/>

16-650 Engenharia e Gerenciamento de Sistemas para Robótica

Pós-Graduação

<https://www.ri.cmu.edu/education/courses/>

16-662 Autonomia do robô

Pós-Graduação

<https://www.ri.cmu.edu/education/courses/>

16-711 Cinemática, Sistemas Dinâmicos e Controle

Pós-Graduação

<https://www.ri.cmu.edu/education/courses/>

16-720 Visão por Computador

Pós-Graduação

<https://www.ri.cmu.edu/education/courses/>

16-722 Sensores

Pós-Graduação

<https://www.ri.cmu.edu/education/courses/>

16-741 Mecânica da Manipulação

Pós-Graduação

<https://www.ri.cmu.edu/education/courses/>

16-748 Robôs Subativados (*Underactuated Robots*)

Pós-Graduação

<https://www.ri.cmu.edu/education/courses/>

16-761 Introdução aos Robôs Móveis

Pós-Graduação

<https://www.ri.cmu.edu/education/courses/>

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI

Curso de Engenharia de Robôs

Graduação

<https://portal.fei.edu.br/>

COLUMBIA

Automação (robôs, aquisição de dados / imagens, reconhecimento e controle);

Graduação

<https://bulletin.engineering.columbia.edu/mechanical-engineering>

ECE ILLINOIS

ECE 470 - Introdução à Robótica

Graduação e Pós

<https://ece.illinois.edu/academics/courses/profile/ECE470>

ECE 550 - Planejamento Robótico Avançado

Pós-Graduação

<https://ece.illinois.edu/academics/courses/profile/ece550>**SE 598 - Robótica Flexível (Soft Robotics)**

Pós-Graduação

<https://ise.illinois.edu/courses/profile/SE598-120178>**FIAP - FACULDADE DE INFORMÁTICA E ADMINISTRAÇÃO PAULISTA****Engenharia Mecatrônica**

Pós-Graduação

<https://www.fiap.com.br/>**GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY****CS 3630 Introdução à Robótica e Percepção**

Pós-Graduação

<https://www.cc.gatech.edu/~seth/Teaching/cs3630/index2018.php>**CS 7630: Robótica Autônoma**

Graduação

https://www.cc.gatech.edu/classes/AY2014/cs7630_spring/**CS 7638: Inteligência Artificial em Robótica**

Graduação

<https://www.omscs.gatech.edu/cs-7638-artificial-intelligence-robotics>**ME 6407: Robótica**

Graduação

<http://me.gatech.edu/graduate/courses/me6407>**HAVARD UNIVERSITY****Introdução à Robótica**

Graduação

<https://locator.tlt.harvard.edu/course/colgsas-131554/2019/spring/20338>**Sistemas de Robôs Autônomos**

Graduação

<https://canvas.harvard.edu/courses/65155>**INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA****Engenharia de Controle e Automação**

Graduação

<https://maua.br/>**ITMO UNIVERSITY****Modelagem e Controle de Sistemas Robóticos**

Pós-Graduação

<https://en.itmo.ru/en/searchform/search.htm>**MIT - MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY****Introdução à Robótica**

Graduação

<https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-12-introduction-to-robotics-fall-2005/>**Projeto de Sistemas Robóticos Eletromecânicos**

Graduação

<https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-017j-design-of-electromechanical-robotic-systems-fall-2009/>

Robótica

Graduação e Pós

<https://ocw.mit.edu/resources/res-9-003-brains-minds-and-machines-summer-course-summer-2015/unit-8.-robotics/>

Robótica Cognitiva

Pós-Graduação

<https://ocw.mit.edu/courses/aeronautics-and-astronautics/16-412j-cognitive-robotics-spring-2016/>

Robótica Subativada (*Underactuated Robotics*)

Pós-Graduação

<https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-832-underactuated-robotics-spring-2009/>

TOHOKE UNIVERSITY

Robótica, EEE, SMEC, BMEC

Graduação

https://www.tohoku.ac.jp/en/news/university_news/TESP_2018.html

UNIVERSIDADE DE PADUA

Mestrado em Engenharia de Sistemas de Controle

Pós-Graduação

www.unipd.it/en/tuition-fees.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA AT BERKELEY

CS 287 / IEOR 290K: Tópicos Avançados em Robótica

Pós-Graduação

<https://goldberg.berkeley.edu/courses/S02/287/>

CS 287: Robótica Avançada

Graduação

<https://people.eecs.berkeley.edu/~pabbeel/cs287-fa15/>

CS 294-40 - Aprendizado de Robótica e Controle

Pós-Graduação

<https://inst.eecs.berkeley.edu/~cs294-40/fa08/>

EE C106A. Introdução à Robótica

Graduação

<https://www2.eecs.berkeley.edu/Courses/EEEC106A/>

EE C106B. Manipulação e Interação Robótica

Graduação

<https://www2.eecs.berkeley.edu/Courses/EEEC106B/>

UNIVERSITY OF MICHIGAN

ROB 501. Matemática para Robótica

Pós-Graduação

<https://bulletin.engin.umich.edu/courses/robotics-courses/>

ROB 502. Programação para Robótica

Pós-Graduação

<https://bulletin.engin.umich.edu/courses/robotics-courses/>

ROB 550. Laboratório de Sistemas Robóticos

<p>Pós-Graduação https://bulletin.engin.umich.edu/courses/robotics-courses/</p>
UNIVERSITY OF OXFORD
<p>Máquinas e sistemas inteligentes autônomos Pós-Graduação https://www.ox.ac.uk/admissions/graduate/courses/autonomous-intelligent-machines-and-systems?wssl=1</p>
UNIVERSITY OF TEXAS
<p>CS 309: Robótica Inteligente Autônoma (FRI I e II) Pós-Graduação http://www.cs.utexas.edu/~jsinapov/teaching/cs309_spring2017/</p>
<p>CS 344R: Robótica Pós-Graduação http://www.cs.utexas.edu/~pstone/Courses/393Rfall18/</p>
<p>CS 395T: Robótica Inteligente Pós-Graduação http://www.cs.utexas.edu/~kuiipers/cs395T-S06.html</p>
<p>CS393R: Robôs Autônomos Pós-Graduação http://www.cs.utexas.edu/~pstone/Courses/393Rfall18/</p>
<p>Robôs Autônomos Pós-Graduação https://cns.utexas.edu/component/cobalt/item/1425-autonomous-intelligent-robotics?Itemid=1971</p>
UNIVERSITY OF TORONTO
<p>Aprendizado de Imitação para Robótica, CSC2621 Pós-Graduação http://www.cs.toronto.edu/~florian/courses/imitation_learning/</p>
<p>CSC477: Introdução à Robótica Móvel Graduação https://www.utoronto.ca/search?query=%22robotics+course%22</p>
VIRGINIA TECH
<p>ECE 4704 - Princípios de Sistemas Robóticos Graduação https://ece.vt.edu/undergrad/courses/4704</p>
<p>ECE 5704 - Robótica e Automação Pós-Graduação https://ece.vt.edu/grad/courses/5704</p>