

Indústria 4.0

Da Primeira à Quarta Revolução Industrial

O que é a Indústria 4.0

Tecnologias da Indústria 4.0

Implantação da Indústria 4.0

Gerenciamento de produção na Indústria 4.0

Cibersegurança na Indústria 4.0

Sistemas Ciber-Físicos

Realidade Aumentada

IoT Internet das Coisas e IoS Internet de Serviços

Cloud Computing na Indústria 4.0

Big Data e Inteligência Artificial na Indústria 4.0

Sistema Modular de Produção (MPS)

Da Primeira à Quarta Revolução Industrial

Primeira Revolução Industrial (Indústria 1.0)

A Primeira Revolução Industrial começou há mais ou menos 200 anos, na Grã-Bretanha, no século XVIII, com o surgimento da máquina a vapor, aperfeiçoada por James Watt, em 1769. Esta revolucionária invenção passou a ser utilizada em diversas aplicações dentre as quais se destaca o tear mecânico inventado por Edmund Cartwright, em 1785, que podia ser operado por mão de obra não especializada marcando, dessa forma, o início da tecelagem industrial na Inglaterra.

Nos séculos anteriores, os produtos eram fabricados em pequenas quantidades nas guildas, ou corporações de ofícios, por artesãos que eram mestres naquilo que faziam. O aprendiz, após vários estágios e longos anos de experiência, tornava-se mestre, pois adquirira o conhecimento de todo o processo de fabricação de determinados bens e aprendera todos os segredos da compra das matérias-primas, fabricação até os mercados onde deveria negociar os bens produzidos.

A produção em pequena escala de produção tornava os bens inacessíveis a muitas pessoas. Apenas os mais ricos podiam adquiri-los. Dessa forma, a manufatura artesanal apresenta as seguintes características: altos custos, baixo volume de produção, baixa qualidade e trabalhadores altamente qualificados que dominam todo o processo de produção.

Segunda Revolução Industrial (Indústria 2.0)

A Segunda Revolução Industrial começou no século XIX e terminou em meados do século XX, na Segunda Guerra Mundial. A eletricidade desempenhou um papel fundamental: motores e máquinas menores nas indústrias, eletrodomésticos etc.

Nesse período, ocorreram importantes avanços na indústria elétrica, química, petroleira e metalúrgica. Empresas que se tornaram.

Frederick W. Taylor propôs a racionalização e aperfeiçoou a divisão do trabalho em etapas múltiplas.

Henry Ford adaptou a fabricação artesanal de carros a manufatura em massa, reduzindo o custo de produção e, conseqüentemente, o preço do produto para o consumidor.

Porém, como o objetivo era produzir sempre o mesmo bem e cada vez mais rápido, não havia muita preocupação com a qualidade.

Terceira Revolução Industrial (Indústria 3.0)

A Terceira Revolução Industrial, chamada de Era da Eletrônica, começou em meados do século XX, após o término da Segunda Guerra Mundial.

O Japão, após a Segunda Guerra Mundial, estava devastado e dispunha de poucos recursos para sua indústria. O governo lançou, portanto, um pacote de incentivos para que a nação reduzisse o desperdício e para aproveitamento racional dos recursos disponíveis. A Toyota que não tinha como desenvolver o mesmo sistema de produção em massa da americana Ford, desenvolveu o "lean manufacturing" (produção enxuta). O sistema desenvolvido por engenheiros da Toyota apresentou os seguintes fundamentos: redução de desperdícios, eliminação de perdas, produção conforme a demanda, padronização, estoques reduzidos e automação.

Quarta Revolução Industrial (Indústria 4.0)

A Quarta Revolução Industrial surge em meados da década de 2010 com o avanço da eletrônica e a evolução do setor de telecomunicações. Processadores mais rápidos, menores e de menor custo e redes de alta velocidade possibilitam a transmissão e o processamento de volumes cada vez maiores de dados.

Em 2011, durante a Feira de Hannover, o governo da Alemanha lançou um projeto denominado *Plattform Industrie 4.0* (Plataforma Indústria 4.0) visando automatizar todo o processo de produção através da troca de dados entre as máquinas e os seres humanos, através do desenvolvimento de alta tecnologia em sistemas embarcados em equipamentos industriais.

A Plataforma Indústria 4.0 passou a ser divulgada, em 2013, por empresas, academias e associações e foi relançada, em 2015, como programa oficial do governo alemão.

"O grande desafio da Indústria 4.0 é otimizar a convergência das tecnologias para melhorar a produtividade, a qualidade dos produtos, barateá-los, além de produzi-los de forma sustentável e sem desperdícios." (STEVAN JR; LEME; SANTOS; 2018)

O que é a Indústria 4.0

Indústria 4.0 ou Quarta Revolução Industrial é uma expressão que integra tecnologias de automação e troca de dados e utiliza conceitos de Sistemas Ciber Físicos, Internet das Coisas (IoT) e Computação em Nuvem (Cloud Computing). A integração destas tecnologias avançou ao ponto de dar origem a "Fábricas Inteligentes". Nesse tipo de instalação fabril, as estruturas são modulares, os sistemas ciber-físicos monitoram os processos físicos, criando uma cópia virtual do mundo físico e tomando decisões descentralizadas. A Internet das Coisas torna possível que sistemas ciber-físicos comuniquem e cooperem entre si e com os humanos em tempo real, e através da computação em nuvem. O foco da Indústria 4.0, em síntese, é a melhoria da eficiência e produtividade dos processos.

A tomada de decisão torna-se mais assertiva na Indústria 4.0, pois o acompanhamento e a análise dos dados da produção ocorrem em tempo real. Isso permite que o processo produtivo atenda às decisões do cliente final, independentemente da quantidade e do tipo de produto (ALMEIDA, 2019).

Observe o impacto de tudo isso na estrutura e nos processos mais importantes em muitas indústrias:

Plantas industriais

Plantas industriais, no cenário da Indústria 4.0, podem ser acionadas e controladas remotamente. Isso é possível através de um modelo virtual da linha de produção. Simulações podem ser realizadas com o objetivo de otimizar a linha de produção, garantindo que quando a linha for implantada os problemas sejam os mínimos possíveis.

Processamento de Pedidos

Os pedidos dos clientes são automaticamente processados e programados. O cliente, pode ter acesso online ao andamento de seus pedidos. As linhas de produção tornaram-se flexíveis permitindo ao cliente realizar pedidos customizados, escolhendo tamanho, cor, acabamento e acessórios.

Manutenção

O sistema de monitoramento e controle da fábrica, avisa o setor responsável ou a empresa que presta serviço nessa área que determinados equipamentos ou peças precisam ser verificados e, se necessário, substituídos. O mesmo sistema pode ser programado para que pessoas ou empresas responsáveis pela manutenção sejam acionadas no caso de manutenção corretiva.

Logística

A logística é totalmente automatizada na Indústria 4.0. A implementação ocorre com o acesso a veículos através de biometria, a leitura das informações dos contêineres via OCR (Reconhecimento Ótico de Caracteres), o uso de robôs que fazem a leitura de documentos para a presença de carga, o scanner que lê dados da carga no veículo de transporte e outros recursos tecnológicos, tornando possível a todos os envolvidos no transporte de carga acompanhar o deslocamento dos produtos online e em tempo real.

Tecnologias da Indústria 4.0

Sistemas Ciber-Físicos

Sistemas Ciber-Físicos (CPS - Cyber-Physical Systems, em inglês) basicamente permitem que as empresas representem o que ocorre no mundo físico em ambientes digitais.

O funcionamento desses tipos de sistemas ocorre da seguinte forma: dados sobre o funcionamento de determinada máquina ou sistema são coletados através de sensores. Esses dados são enviados aos computadores através de redes digitais integradas que monitoram os processos físicos. Os dados são então replicados em um ambiente digital, no qual os retornos acontecem de forma imediata e constante. Dessa forma, os sistemas ciber-físicos mapeiam o mundo virtual para os sistemas físicos.

Big Data Analytic

Big Data Analytic tem o objetivo de extrair valor de grandes volumes de dados, disponíveis tanto internamente às organizações como na internet, utilizando para isso um conjunto de técnicas e ferramentas computacionais. Dispositivos que geram e coletam dados utilizados nas indústrias, além do crescente volume de dados na internet devem ser analisados e utilizados de forma estratégica para o bom desempenho da Indústria 4.0.

Cloud Computing

Computação em nuvem (cloud computing) é o serviço de computação baseado na internet desenvolvido para utilizar sob demanda recursos de TI: processamento, armazenamento de dados, redes e aplicações em ambientes compartilhados de maneira integrada, em qualquer lugar e independente de plataforma. O benefício obtido não se restringe apenas a redução dos custos com servidores locais, é uma maneira dinâmica de se ajustar às necessidades de recursos de TI ao negócio de maneira simples, segura e econômica. Resumidamente, na cloud, a empresa cliente paga pelo que consome. A computação em nuvem é dividida basicamente em três categorias: IaaS (Infrastructure as a Service), PaaS (Platform as a Service) e SaaS (Software as a Service).

Internet das Coisas (IoT)

A Internet of Things (IoT) refere-se a rede composta por sensores, atuadores, software e outros dispositivos e tecnologias. Através dessa rede os dados são trocados

digitalmente entre os dispositivos, que podem ser objetos domésticos ou ferramentas industriais sofisticadas.

Os dispositivos conectados a essa rede coletam e compartilham dados internos e externos. A Internet das Coisas é utilizada pelas empresas para compreender melhor seus clientes, melhorar a tomada de decisão e aumentar valor aos seus negócios.

Internet dos Serviços (IoS)

Podemos definir a Internet dos Serviços como o ambiente digital onde empresas, indivíduos ou sistemas podem se comunicar tanto para disponibilizar como para obter serviços.

Manufatura Aditiva

A manufatura aditiva refere-se a processos de produção que diferem dos clássicos (usinagem, estampagem, etc.). Um dos processos de manufatura aditiva mais utilizado é a impressão 3D. Nesse processo de fabricação são adicionadas camadas de material como forma de transferir uma geometria virtual para um objeto físico. Esse processo não é o único tipo de manufatura aditiva. Há outro processo muito utilizado – a sinterização – que envolve a aglutinação de micropartículas sólidas através de aquecimento em temperatura abaixo do ponto de fusão.

Inteligência Artificial (IA)

Inteligência Artificial refere-se ao conjunto de tecnologias como algoritmos, redes neurais artificiais, sistemas de aprendizado de máquinas, dentre outros, que simulam as capacidades humanas ligadas à inteligência. Sistemas que utilizam Inteligência Artificial tem a capacidade de avaliar o ambiente, processar as informações e aprender com as experiências adquiridas, tornando-se, portanto, uma importante ajuda para tomada de decisão.

Realidade Aumentada (AR)

A Realidade Aumentada (AR - Augmented Reality) utiliza recursos computacionais para gerar uma sobreposição de elementos do ambiente virtual para o ambiente físico. Isso ocorre em tempo real e pode complementar a experiência do usuário por modificar ou incluir elementos auditivos e visuais.

Sensores Inteligentes

Sensores inteligentes são dispositivos capazes de receber estímulos do ambiente onde estão instalados, capturar os dados relacionados e realizar o processamento desses dados gerando informação relevante.

Implantação da Indústria 4.0

Empresas interessadas em iniciar a modernização da produção e acompanhar tendências mundiais já adotadas em países mais desenvolvidos, podem seguir as etapas aqui apresentadas.

Planejamento

A situação atual da empresa deve ser avaliada nos quesitos automação e tecnologia. Este importante passo inicial deve descrever clara e realisticamente as metas a serem atingidas nos próximos anos.

Introdução de uma nova cultura na empresa

A cultura dessa nova realidade deve ser introduzida na rotina da empresa. É fundamental que essa mudança no modo de pensar e agir comece pelos diretores e gestores da empresa. E a partir daí, deve ser ampliada a todos os funcionários.

O sucesso nessa etapa somente poderá ser alcançado se todos desapegarem-se a antigos paradigmas e estiverem abertos a novas soluções.

Investimento na capacitação

A empresa deve, portanto, capacitar seus funcionários para atuarem em um mundo completamente digital. Conforme as respectivas áreas, os funcionários devem dominar assuntos como IoT (Internet das Coisas), Big Data e automação industrial.

Investimento em projetos pilotos

É inviável realizar a implementação completa e a curto prazo da Indústria 4.0 em uma fábrica inteira.

A solução passa, portanto, na adoção de projetos pilotos mais simples. A partir do sucesso desses primeiros projetos e da experiência adquirida, a empresa poderá adotar outros, mais complexos e de maior envergadura.

Atenção à análise de dados e à segurança

Análise de dados e segurança da informação são dois importantes pilares da Indústria 4.0 e fundamentais para o sucesso dos projetos. A coleta e análise de dados em tempo

real representam um grande desafio, porém, ao mesmo tempo, são fatores determinantes para a implantação da Indústria 4.0.

Os processos que envolvem a análise de dados devem acontecer automaticamente, uma vez que são controlados pelas máquinas e pelos softwares. Diante desse cenário, interferência humana nos processos de análise de dados passa a ser cada vez menor.

Dispositivos instalados nos equipamentos e acessíveis via rede local ou remota são especialmente suscetíveis a ataques. Portanto, a segurança deve ser considerada outro ponto fundamental. Como muitos equipamentos estão conectados, uma falha pode ser fatal. Veja o seguinte exemplo: no dia 7 de maio de 2021, a maior rede de gasodutos dos EUA sofreu um ataque cibernético, paralisando o fluxo de combustível e obrigou o governo americano a declarar estado de emergência. O grupo de hackers desconectou completamente a rede e roubou mais de 100 GB de informações do oleoduto da empresa Colonial. O duto transporta mais de 2,5 milhões de barris de óleo por dia, o que corresponde a 45% do abastecimento de diesel, gasolina e querosene de aviação da costa leste dos EUA.

Investimento em modernização

O conhecimento adquirido nos treinamentos e na prática possibilitarão identificar eventuais falhas na infraestrutura e/ou nos equipamentos que precisam ser sanadas para a implementação correta da indústria 4.0. Através dessa análise, chega-se à conclusão sobre a necessidade de investir em TI, que poderá implicar na aquisição de novos equipamentos de informática, melhorar o acesso à internet e assim por diante.

A ideia é que a empresa entenda a modernização e as mudanças como algo rotineiro, uma vez que as transformações serão cada vez mais frequentes.

Gerenciamento de produção na Indústria 4.0

O gerenciamento da produção na Indústria 4.0 foi consideravelmente alterado através do uso de tecnologias inovadoras que conectam todos os processos que vão desde a emissão do pedido até a entrega ao cliente. É importante destacar que tanto a empresa como o cliente podem acompanhar em tempo real cada etapa do processo. O cliente, obviamente, não precisa receber em detalhes algumas informações que são pertinentes ao chão de fábrica, mas de modo geral poderá obter todas as informações necessárias sobre o andamento de seu pedido.

Além disso, mudanças que ocorreram no gerenciamento da produção podem ser consideradas positivas, pois oferecem mais eficiência, economia e qualidade a todo o processo produtivo. A comunicação entre os elementos que compõem o sistema de produção é rápida as informações obtidas são essenciais para a resolução de falhas, em muitos casos sem intervenção humana.

Isso não significa que a atuação humana é totalmente dispensada na Indústria 4.0. No entanto, implica em requalificar os funcionários, principalmente através de treinamento, para que assumam novas funções em sintonia com essa nova realidade.

Nesse contexto, o gestor tem a sua disposição diversos recursos e tecnologias para acompanhar os processos de produção, monitorar com eficiência como o trabalho é executado e assim realizar um diagnóstico mais preciso e seguro.

A seguir, será apresentado como a tecnologia empregada na Indústria 4.0 atua em cada etapa desde a emissão do pedido de compra até a entrega do produto ao cliente.

1º passo: Um cliente realiza uma compra online através de um sistema disponibilizado na Internet.

2º passo: O pedido entra no Planejamento e Controle da Produção (PCP).

3º passo: O sistema roda uma rotina de segurança para verificar se o pedido é de um cliente ativo, idôneo etc.

4º passo: Caso não seja apresentado nenhum problema no 3º passo, o sistema gera uma lista de materiais necessários para atender o pedido e verifica se esses materiais constam no estoque.

5º passo: Caso necessário, o sistema verifica com os sistemas dos fornecedores os prazos de entrega e os compara com o prazo acordado com o cliente.

6º passo: Se os prazos obtidos junto aos fornecedores forem superiores ou incompatíveis com o prazo acordado com o cliente, o sistema entra em contato com o cliente e informa que não será possível atender ao prazo acordado, fornecendo, se possível, alternativas. Nesse passo o sistema pode, por exemplo, informar o cliente que o prazo poderá ser atendido se este estiver disposto a alterar alguma característica do produto (cor, tamanho etc.).

7º passo: Caso o cliente concorde com as novas condições, o sistema confirma as encomendas com os fornecedores e aloca o pedido na linha de produção.

8º passo: Caso seja necessário reconfigurar a linha de produção para atender ao pedido, o sistema realiza uma simulação e apresenta um modelo ideal para validação do supervisor. Esse processo pode ocorrer com a participação de uma pessoa ou através de Inteligência Artificial (IA).

9º passo: No momento acertado, caso necessário, o sistema reconfigura a linha de produção para atender ao pedido.

10º passo: Atuadores e sensores instalados na linha de produção realizam o controle e passam informações sobre o processamento do pedido para uma central que retransmite os dados através da Intranet ou Internet para sistemas supervisores que atuam nos equipamentos. Os sensores e atuadores aqui mencionados são chamados de Sistemas Ciber-Físicos (CPS - Cyber-Physical Systems, em inglês) pois conectam linha de produção (mundo real) aos interessados através do mundo virtual ou cibernético. As máquinas interagem entre si enviando dados ou comandos entre elas. Chamamos isso de comunicação máquina a máquina (M2M - Machine to Machine, em inglês). Quando as máquinas interagem com humanos, chamamos de comunicação máquina a humanos (M2H - Machine to Human, em inglês).

11º passo: Caso seja necessária alguma manutenção corretiva, o sistema comunica ao setor de manutenção interno ou entra em contato com a empresa que presta esse tipo de serviço, informa o problema e solicita o reparo. O cliente é alertado sobre a possibilidade de atraso no prazo de entrega acordado.

12º passo: Quando a fabricação do produto é concluída, o sistema informa o cliente, emite a documentação de remessa para embarcar o pedido e solicita à logística o transporte.

13º passo: O cliente pode rastrear online o trânsito do pedido, desde a fábrica até o local de entrega.

Conforme observado, a interconectividade entre todos os processos é muito grande. Há, portanto, a possibilidade de reconfigurar a linha de produção e, desta forma, produzir itens customizados ou personalizados. As fábricas que apresentam esta versatilidade são denominadas "fábricas inteligentes" (smart factories, em inglês).

Cibersegurança na Indústria 4.0

O objetivo da segurança cibernética, antes do advento da Indústria 4.0, envolvia a defesa de parâmetros organizacionais, isto é, na proteção de uma rede de privada computadores. Os métodos que visam prevenir violações incluem firewalls, software anti-malware, sistemas de detecção de intrusão, entre outros. No entanto, abordagem tradicional de segurança cibernética está se tornando mais obsoleta a cada dia, especialmente no contexto da Indústria 4.0 na qual é difícil estabelecer as fronteiras entre os mundos digital e físico.

Mesmo antes da Indústria 4.0, as ameaças à segurança cibernética tendiam a estar um passo à frente das soluções ou potenciais medidas preventivas. É comum configurar medidas preventivas em uma rede privada, como firewalls e sistemas de detecção de intrusão que reagem a novas ameaças que contornam tais medidas. No entanto, com a Indústria 4.0, dados os sistemas que abrangem todas as indústrias e possivelmente milhares de dispositivos e redes diferentes interagindo entre si, os tipos de ameaças a serem antecipadas aumentam. Por exemplo, ameaças emergentes podem ter como alvo um dispositivo específico entre milhares em uma rede e isso é extremamente difícil de prever.

Portanto, um profissional (gerente, engenheiro, especialista em cibersegurança) que atua uma indústria de manufatura em evolução deve notar que a natureza integrada e distribuída da Indústria 4.0 torna extremamente difícil proteger completamente uma empresa contra ameaças cibernéticas devido a uma série de razões que serão apresentadas a seguir:

Compartilhamento de dados: O compartilhamento de dados na Indústria 4.0 é feito entre as cadeias de suprimentos e várias partes interessadas. Os sistemas são integrados e abrangem consumidores e fornecedores. Os dados também são distribuídos por todos os sistemas, o que significa um maior escopo de segurança.

Pontos de ataque: O número de pontos de acesso aumentou drasticamente, uma vez que os sistemas envolvem várias partes interessadas na cadeia de valor, bem como consumidores. Esses pontos de acesso obviamente são também possíveis pontos de

ataque. Quanto mais pontos de ataque, mais difícil e mais oneroso se torna a proteção de todo o sistema.

Convergência das Tecnologias da Informação e Operacional: Os limites de software e hardware tornaram-se confusos, por isso é importante considerar tanto os componentes digitais como os físicos para proteger de ponta a ponta os sistemas da Indústria 4.0. Os métodos usados anteriormente, como e sistemas de detecção de intrusão, antimalware e firewalls, podem não ser bem-sucedidos ao envolver software e diferentes tipos de sistemas de hardware comuns na Indústria 4.0.

Principais ameaças à segurança

A interconexão de vários sistemas leva ao aumento da complexidade do sistema e, consequentemente, o aumento da complexidade implica em um aumento nas vulnerabilidades de segurança. Vejamos algumas das principais ameaças aos sistemas da Indústria 4.0.

Negação de serviço

A negação de serviço (DDoS - Distributed Denial of Service) refere-se ao ato de indisponibilizar os serviços oferecidos por um sistema. Em um ataque desse tipo, um servidor fica sobrecarregado com um grande número de solicitações para utilizar todos os recursos disponíveis. Os componentes da Indústria 4.0 são interconectados como processos e sistemas. Portanto, no caso de um ataque distribuído de negação de serviço, servidores e outros componentes, como redes de sensores, podem ficar indisponíveis.

O tempo de inatividade do serviço em um contexto de negócios também é extremamente caro. Esses ataques são altamente imprevisíveis, portanto, difíceis de gerenciar e controlar.

Espionagem cibernética

No atual cenário industrial competitivo, há incentivo na aquisição de informações importantes sobre o concorrente. Além disso, a evolução do crime cibernético gerou grupos cada vez mais organizados de criminosos que encontram um incentivo em visar vários setores e acessar informações críticas e propriedade intelectual. As soluções para

esses problemas cada vez mais comuns devem ser voltadas para garantir a transparência e a confiança em todas essas plataformas, sistemas e redes.

Ataques de ransomware

Outra ameaça que cresceu em popularidade é o ataque de ransomware, em que os dados são criptografados pelo invasor e somente "devolvidos" quando uma condição específica fornecida por ele seja satisfeita.

Os funcionários devem ser preparados para se tornarem mais competentes com a tecnologia visto que podem cometer erros e involuntariamente colocar em risco a segurança da empresa.

Por outro lado, há funcionários que podem agir de forma maliciosa e sabotar os sistemas intencionalmente. Atos de vandalismo são um exemplo de ataques físicos a sistemas. Além disso, considerando o perfil colaborativo da Indústria 4.0, onde vários parceiros ao longo da cadeia de valor interagem, a chance para ameaças de terceiros também deve ser observada.

Outras ameaças

No entanto, nem todas as ameaças podem vir de pessoas ou grupos mal intencionados. Fatores como falha de hardware, e erros em software industrial, também constituem problemas que devem ser seriamente considerados. Sensores e atuadores podem funcionar incorretamente, quedas de rede e de energia podem causar tempo de inatividade do sistema e desastres naturais também representam uma ameaça.

Sistemas Ciber-Físicos

O que são os Sistemas Ciber-Físicos?

Os Sistemas Ciber-Físicos (CPS - Cyber-Physical Systems) integram componentes que envolvem computação, comunicação e controle através de redes e processos físicos. Através desses sistemas as empresas podem representar a realidade do mundo físico em ambientes digitais. Desta forma, é possível fazer testes, simulações, previsões de desgastes, dentre outras possibilidades oferecidas por essa tecnologia.

Como funcionam os Sistemas Ciber-Físicos

O funcionamento dos Sistemas Ciber-Físicos ocorre basicamente da seguinte forma: computadores e redes integradas, através de sensores que geram dados sobre o funcionamento de determinada máquina ou sistema, monitoram os processos físicos. Os dados obtidos são replicados, com retornos constantes e imediatos, de modo que as conclusões afetem os dois lados, em uma demonstração no ambiente virtual ou a partir de atuadores no ambiente físico. Nesse ambiente, os dados precisam ser seguros e confiáveis para fornecerem elementos para a tomada de decisões em um nível aceitável de risco.

Setores que envolvem grandes infraestruturas e operações de alto custo são os que mais têm se beneficiado da criação Sistemas Ciber-Físicos: indústria de petróleo, geração e distribuição de energia, metalurgia, entre outras, e aquelas que devem ser muito criteriosas na análise de riscos: seguradoras e instituições financeiras.

Aplicações que utilizam a arquitetura dos Sitemas Ciber-Físicos são formadas por duas camadas: a camada virtual de tecnologia de informação (ciber) e a camada operacional (física). Porém os protocolos de comunicação dessa arquitetura são mais próximos dos protocolos de automação.

Os elementos computacionais são interligados aos componentes físicos por meio de sensores e atuadores, dessa forma o controle e o monitoramento do ambiente físico são realizados a partir do virtual.

A camada física é responsável pelas operações de transformação da realidade que ocorre em processos produtivos nas máquinas, robôs, esteiras de transporte de

produtos, e outros equipamentos. As aplicações de TI de múltiplas funções são consideradas como "camada ciber" e os trabalhadores e a própria fábrica são considerados como "camada física".

Aplicações dos Sistemas Ciber-Físicos

As principais aplicações dos Sistemas Ciber-Físicos são:

- Gêmeos Digitais (Digital Twins) que são representações virtuais da menor unidade de um Sistema Ciber-Físico, seja uma máquina ou apenas um componente. Representam objetos físicos ou processos reais em funcionamento de forma individualizada.
- Interfaces de gerenciamento e controle em tempo real do que ocorre no mundo físico por meio de dashboards.
- Controle automático descentralizado por unidades autônomas da linha de produção, baseadas em inteligência artificial e executadas através de sensores e atuadores em tempo real.
- Big data analytics implementada através da captura e armazenamento de grandes quantidades de dados para análise e tomada de decisão.
- Integração da cadeia de valor com a estrutura produtiva, permitindo a comunicação entre clientes e fornecedores através de ambiente virtual.

Integração entre as camadas Ciber e Física

A integração entre as camadas ciber e física ocorre através de dois tipos básicos de dispositivos:

- Sensores: captam informações do ambiente físico e as transformam em sinais elétricos, digitais, para alimentar os sistemas de controle e monitoramento.
- Atuadores: realizam intervenções no mundo físico a partir de sinais digitais, como abertura e fechamento de válvula, aquecimento e resfriamento, etc.

Sistemas Ciber-Físicos na Indústria 4.0

A camada ciber pode incluir um modelo de simulação com o objetivo de reproduzir o ambiente físico, o "irmão virtual", para testar alterações sobre processos existentes ou projetos de novos processos, proporcionando redução de custos.

Aplicações de TI como sistemas integrados de gestão (ERP) podem ser incluídos, assim como sistemas de acompanhamento e controle de produção, sistemas de gestão de ciclo de produtos, etc.

O enorme volume de dados gerados na camada física e em outros sistemas podem ser armazenados em sistemas gerenciadores de bancos de dados para, por sua vez, alimentar sistemas de BI (Business Intelligence) para análise e apoio a decisões estratégicas.

Os sistemas podem ser ampliados para outros elos da cadeia de valor para permitir, por exemplo, que informações trocadas com os fornecedores garantam entregas "just in time" mais precisas. Um cliente poderá também acompanhar o andamento da produção de seu pedido ou fazer alterações no pedido customizado, que são informadas em tempo real à camada física do sistema.

DESTAQUE

Digital Twins

Os primeiros conceitos de Gêmeos Digitais foram apresentados em 2003, e desde então possuem inúmeras aplicações no meio acadêmico e industrial (TAO et al., 2019).

Os Gêmeos Digitais surgiram originalmente para simulação no setor aeroespacial. Atualmente, são estudados em aplicação para indústria 4.0, como forma de representar equipamentos físicos no estado digital com atualização em tempo real, utilizando diferentes sensores e/ou controladores (NEGRI; FUMAGALLI; MACCHI, 2017).

O conceito que envolve os Gêmeos Digitais tem como fundamento a conexão entre o mundo virtual e o mundo físico, o que é fundamental para aplicar os conceitos de Sistemas Ciber-Físicos com maior eficácia, permitido inicialmente devido ao avanço tecnológico dos fabricantes de sensores e soluções para IoT (NEGRI; FUMAGALLI; MACCHI, 2017).

Inúmeros estudos acadêmicos foram e continuam sendo realizados com foco neste assunto, nas diferentes áreas: indústria aeroespacial, medicina, e outros. Conforme mencionado, os primeiros conceitos de Gêmeos Digitais foram apresentados em 2003,

porém, devido a falta de tecnologia necessária na época, apenas em 2012 os conceitos de Gêmeos Digitais tomaram maior foco nas pesquisas. Esse ocorreu quando a NASA (National Aeronautics and Space Administration) apresentou o conceito de Gêmeos Digitais com aplicação em simulação perfeita. A simulação, neste caso, é realizada, a partir de meios computacionais, com alta precisão, com o objetivo de prever o comportamento de um equipamento físico. Desta forma, reduz os riscos de erros em lançamentos de espaçonaves. (TAO et al., 2019).

Big Data e Inteligência Artificial na Indústria 4.0

Objetivo: Demonstrar como a enorme quantidade de dados gerada por dispositivos de diversos tipos e a inteligência artificial impactam nas operações da Indústria 4.0.

O que é Big Data?

Big data é o termo usado para descrever a enorme massa de dados gerada e manipulada a partir de dispositivos de todos os tipos: computadores, smartphones, sensores instalados em fábricas e no campo etc.

Os Vs da Big Data

Em 2001, um consultor da Gartner definiu big data a partir do que veio ser conhecido como os três Vs, a saber:

Volume: refere-se à quantidade de dados gerados a cada dia tanto aqueles que transitam pelas redes (principalmente a internet) como os que estão armazenados em equipamentos de todos os tipos.

Velocidade: refere-se à velocidade com que os dados são gerados. Em 2020, em média, 1.633 tweets foram publicados no Twitter e foram enviados quase três milhões de e-mails a cada segundo.

Variedade: refere-se aos tipos de dados: estruturados e não estruturados. Dados estruturados são aqueles compostos basicamente por linhas e colunas identificáveis, como as tabelas dos bancos de dados relacionais, e dados não estruturados são textos de documentos, e-mails, fotos, vídeo, áudio etc.

Atualmente, outros Vs foram acrescentados ao conceito de big data:

Variabilidade: refere-se ao fluxo inconstante de dados. Há momentos em que os dados apresentam determinados picos e gerenciá-los em tempo real tem sido um grande desafio.

Veracidade: refere-se à geração de dados que podem ser verdadeiros ou falsos, como os que são publicados diariamente nas fake news.

Esse cenário exige das empresas formas inovadoras de aquisição e processamento dos dados que sejam economicamente viáveis. Estima-se, por exemplo, que apenas 0,5% da informação gerada é adequadamente analisada.

Big Data Analytics

A análise da enorme quantidade de dados disponibilizada atualmente passou a ser designada pelo termo "big data analytics" e são inúmeras as suas aplicações para a Indústria 4.0, conforme apresentados a seguir.

Dados coletados a partir de operações e fluxos das linhas de produção são muito importantes para alimentar simuladores e otimizar os processos produtivos.

Dados obtidos a partir dos sinais vitais (pressão arterial, frequência cardíaca e temperatura corporal) de trabalhadores que executam operações sem ambientes insalubres e perigosos são importantes para preservar a saúde e segurança dos profissionais.

Dados do funcionamento dos equipamentos como temperatura, vibração e frequência sonora permitem prever determinadas falhas e realizar manutenções preventivas, evitando paradas inesperadas da linha de produção.

Dados de navegação de potenciais compradores obtidos a partir de portais de comércio eletrônico podem permitir a análise de mercado com o objetivo de desenvolver novos serviços ou produtos.

Dados de mercado como aqueles publicados pelos institutos de pesquisa e aqueles obtidos no CRM da empresa, bem como aqueles que têm origem em parceiros de negócios ou até mesmo em concorrentes permitem prever a demanda e, conseqüentemente, programar a produção e reduzir estoque.

Tudo o que foi exposto leva à seguinte conclusão: os dados, no contexto da Indústria 4.0, passaram a ser um ativo intangível, porém de grande valor. No entanto, esse valor não é encontrado na posse ou armazenamento de grandes quantidades de dados, mas na sua correta análise, pois a partir daí são obtidas as informações necessárias para a tomada de decisão e para o planejamento estratégico das empresas.

O que é Inteligência Artificial?

A relação entre computação e inteligência foi introduzido por A. M. Turing em um artigo acadêmico, publicado em 1950, intitulado "Computing Machinery and Intelligence". Posteriormente, em 1956, John McCarthy cunhou o termo "Artificial Intelligence" (Inteligência Artificial).

Atualmente, Inteligência Artificial é uma área importante da Ciência da Computação que procura desenvolver, através de sofisticados algoritmos, máquinas "inteligentes", isto é, que apresentem alguma semelhança, na forma como agem ou reagem, com os seres humanos. Algumas aplicações importantes encontradas atualmente nessa área são o aprendizado de máquina e o reconhecimento de voz e de imagens.

Inteligência Artificial na Indústria 4.0

A Inteligência Artificial tem impactado positivamente na produção industrial que tem se tornado mais rápida e mais eficaz quando comparada exclusivamente com o trabalho humano. Robôs realizem alguns tipos de tarefas que não são indicadas ou adequadas aos humanos como a manipulação de matérias-primas perigosas ou componentes microscópicos.

Algoritmos de Inteligência Artificial permitem que as empresas solucionem problemas e realizem a tomada de decisão de forma mais abrangente e segura.

Alguns dos principais benefícios da aplicação da Inteligência Artificial na Indústria 4.0 são apresentados a seguir.

Redução de erros em operações industriais: Os algoritmos de inteligência artificial, depois de treinados, desempenham, com margem de erro tendendo a zero, tarefas que os humanos costumam errar.

Chatbots: Programas de computador simulam um ser humano na conversação com as pessoas para atendimento primário aos clientes em serviços bancários online ou em sites de comércio eletrônico. Com isso, as empresas podem reduzir custos com funcionários ou alocá-los em áreas mais estratégicas.

Máquinas autônomas aplicadas na agricultura: Máquinas agrícolas fazem todo o processo de colheita praticamente sem a intervenção humana. Nesse mesmo setor,

sistemas dotados de inteligência artificial fazem o diagnóstico de pragas encontradas nas plantações.

Logística e transporte: A inteligência artificial também está sendo aplicada na logística e nos transportes ajudando a traçar rotas mais econômicas, estimando o tempo conforme o trajeto e apresentando sugestões para melhorar a eficiência, além de veículos autônomos que se encontram em fase de teste.

A empresa brasileira TOTVS desenvolve, desde 2015, uma plataforma de inteligência artificial chamada Carol. A solução apresentada pela empresa é capaz de conectar-se a base de dados a partir de diversas origens e apresentar importantes resultados de apoio a tomada de decisões.

O Watson da IBM

O supercomputador Watson, concebido pelo cientista da IBM Chris Welty, foi lançado em 2011 e levou quatro anos para ser desenvolvido.

O Watson tem a capacidade de entender perguntas na forma de texto, portanto é possível entender, por exemplo, um texto de e-mail. As respostas têm como base livros, artigos científicos, jornais, revistas e outros documentos. O Watson pode, dependendo da pergunta, apresentar mais de uma resposta, "rankeadas" na forma de percentuais, conforme a margem de acerto.

Visto que os seres humanos não conseguem assimilar o conteúdo gerado por todos os documentos disponíveis, o objetivo é usar o Watson para isso. Espera-se, por exemplo, que diagnósticos médicos mais complexos possam ser mais assertivos com a ajuda desse supercomputador.

Fundamentos de robótica

Objetivo: Apresentar os fundamentos da robótica aplicados uma típica linha de produção da Indústria 4.0.

Uma fábrica interconectada

A evolução da interface entre o usuário humano e os robôs mostra-se cada vez mais importante à medida que os manipuladores e outros equipamentos de automação industrial programáveis são usados em aplicações mais sofisticadas.

Os manipuladores robóticos associados a sensores programáveis e outros elementos de comunicação têm a capacidade de adaptar-se a variações que ocorrem durante a produção.

Porém, é importante considerar que os manipuladores robóticos constituem uma pequena parte de um processo automatizado. Uma célula de trabalho, por exemplo, pode incluir diversos elementos, além dos manipuladores: esteiras transportadoras, alimentadores de peças e outras estruturas. As células de trabalho, por sua vez, podem estar interconectadas formando uma rede que abrange toda a instalação fabril. Isso permite que o fluxo de produção seja controlado por um computador central. Esse cenário é considerado na programação de um manipulador, pois a célula onde este se encontra está, na maioria dos casos da Indústria 4.0, conectada com toda a fábrica.

Níveis de programação robótica

De acordo com CRAIG (2013) há três níveis de programação de robôs, conforme apresentados a seguir:

Ensinar mostrando

Os primeiros robôs eram programados através de um método que o autor denomina "ensinar mostrando". Nesse método o robô é movimentado até um determinado ponto e a posição é gravada na memória para que seja posteriormente reproduzida por um sequenciador. Interagindo com uma caixa de controle (teach pendant) é possível controlar as juntas dos manipuladores robóticos.

Linguagens de programação explícita

Essas linguagens, conhecidas pela sigla RPL (Robot Programming Language), são programas escritos em linguagem de computadores com características especiais, mas que em geral mantiveram uma interface no estilo "teach pendant". Observa-se que nesse tipo de linguagem uma grande quantidade de programação que não são específicas para manipuladores robóticos.

Linguagens de programação em nível de tarefa

Essas linguagens em vez de especificar todas as ações que o manipulador robótico deverá realizar, permitem que o usuário comande as submetas da tarefa. Enquanto nas linguagens de programação explícitas as escolhas são feitas pelo programador, nas linguagens em nível de tarefa o sistema deve, por exemplo, planejar uma trajetória para evitar colisões com os obstáculos encontrados na planta industrial. Atualmente essas linguagens encontram-se num nível embrionário e não estão plenamente implementadas nas indústrias.

Modelo de aplicação

CRAIG (2013) apresenta como exemplo uma célula de trabalho na qual ocorre parte da montagem de algum produto. A célula é composta por uma esteira transportadora, controlada por computador, uma câmera conectada a um sistema de visão, um robô industrial, um pequeno alimentador que fornece as peças para o robô, uma prensa controlada por computador que pode ser carregada e descarregada pelo robô e uma plataforma onde o manipulador robótico coloca os conjuntos montados.

CRAIG (2013) apresenta os requisitos descritos a seguir, essenciais para programação de robôs utilizados em processos de automatização da Indústria 4.0.

- **Modelagem do mundo**

Programas de manipulação devem incluir objetos que se movimentam em três eixos (movimentos tridimensionais). Portanto, qualquer linguagem de programação de robôs deve ter os recursos necessários para descrever essas ações. Os tipos geométricos especiais constituem os elementos mais comuns das linguagens de programação de robôs. A habilidade de definir as variáveis e fazer referência aos vários tipos geométricos constitui a base de modelo do mundo usada nas linguagens de programação robótica.

- **Descrição dos movimentos**

A descrição de movimentos é uma das funções mais básicas da programação de robôs. O programador usa expressões de movimento da linguagem para especificar pontos de passagem e a meta. Isso pode ser realizado de dois modos: por interpolação de juntas ou cartesiano em linha reta. A duração do movimento e a velocidade também podem ser configuradas.

- **Fluxo de execução**

Encontram-se disponíveis nas linguagens de programação robótica recursos para controle de fluxo que também são comuns às linguagens convencionais como: loops, sub-rotinas e interrupções. No entanto, nesse ambiente o processamento paralelo em aplicações de células de trabalho é mais importante se comparado com as aplicações de uso geral. A linguagem também precisa oferecer recursos para especificar monitores de eventos, pois os processos costumam ser monitorados com o uso de sensores e o sistema também deve ser capaz de responder a eventos detectados pelos sensores.

- **Ambiente de programação**

Atualmente, a maioria das linguagens de programação de robôs é interpretada, isso significa que expressões individuais da linguagem podem ser executadas e depuradas durante a execução do programa. Faz parte do ambiente típico de programação componentes como editores de texto, depuradores e sistemas de arquivos.

- **Sensores integrados ao sistema**

A programação robótica está fortemente relacionada à interação com sensores. Alguns controladores podem, por exemplo, usar as coordenadas que têm origem em um sensor fixado e uma esteira transportadora para que o manipulador em sincronismo com o movimento da esteira retire os objetos que se encontram sobre ela.

Sistema Modular de Produção (MPS)

Objetivo: Apresentar os laboratórios de prática da Indústria 4.0 MPS (Modular Production System) desenvolvidos pela Festo Didatic e instalados nos campi da Universidade Nove de Julho - Uninove.

Laboratório Indústria 4.0

Os novos laboratórios de Indústria 4.0 da Uninove possuem oito estações de trabalho que envolvem diferentes tecnologias de automação da manufatura.

Nessa aula vamos apresentar em detalhes os módulos que compõem este moderno laboratório que reproduz em escala reduzida uma linha completa de produção similar aquelas encontradas nas indústrias.

Escopo do laboratório | MPS® Manufatura com foco em indústria 4.0

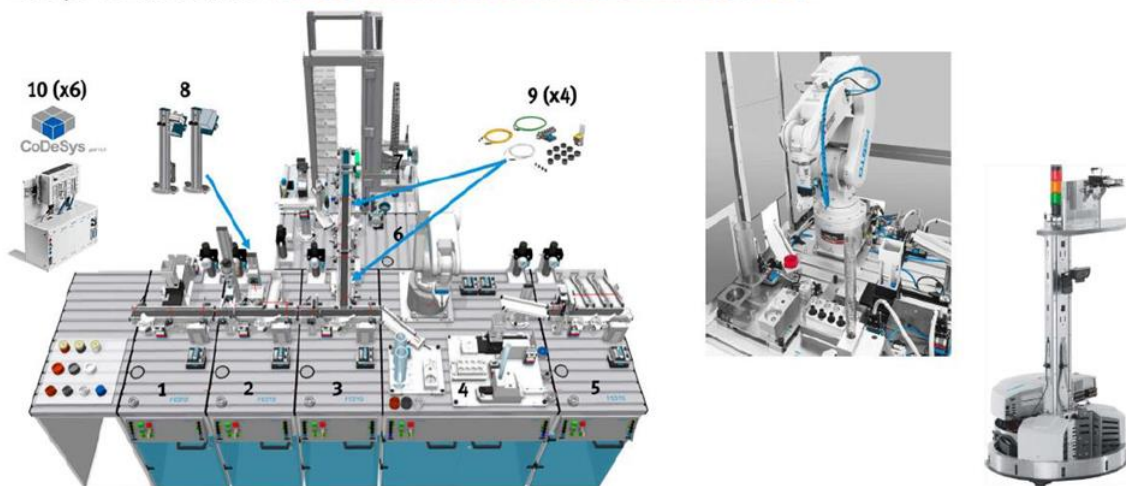


Figura 1 – Laboratório Indústria 4.0 UNINOVE

Observe a seguir quais são as estações e os módulos que compõem o Laboratório Indústria 4.0 UNINOVE.

MPS - Estação de Distribuição

A Estação de Distribuição executa o fornecimento de peças para o sistema, de forma ordenada e de acordo com ordens recebidas do gerenciamento da produção.

Tem como objetivos o estudo das tecnologias de manipulação, transporte por esteiras, sensores e programação de CLP's.

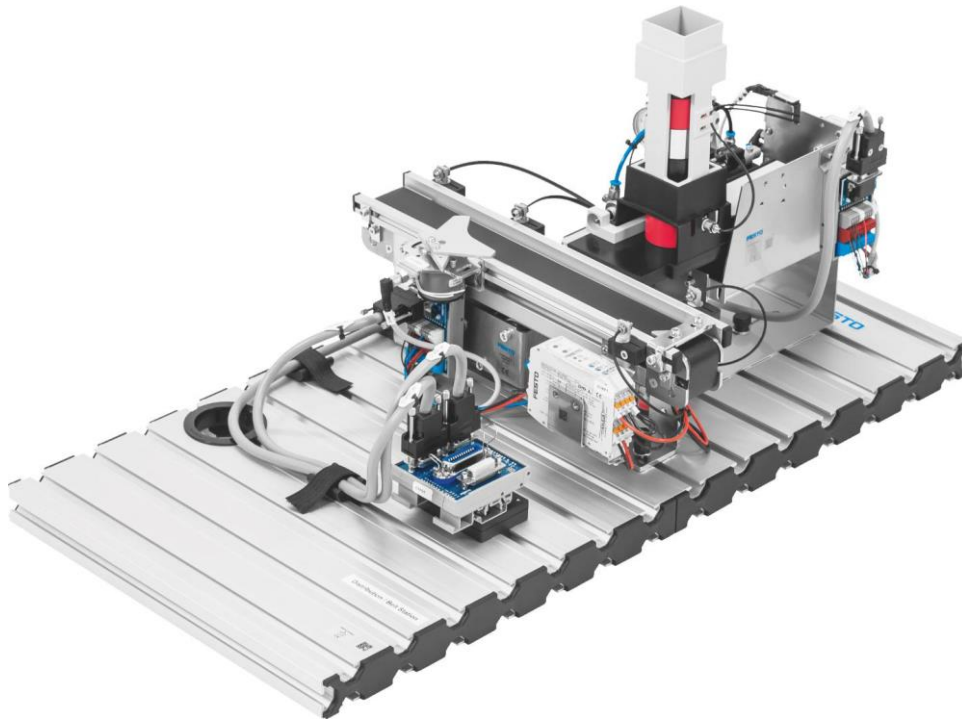


Figura 2 – Estação de Distribuição

A Estação de Distribuição é composta pelos seguintes módulos:

- Distribuidor de peças
- Esteira transportadora

Módulo - Distribuidor de peças.

Uma barreira de luz sob o tubo do magazine verifica se o magazine está vazio ou não. A posição do cilindro ejetor é monitorada por sensores de proximidade. A velocidade com que o cilindro ejetor avança e retrai pode ser ajustada por meio de válvulas de controle de fluxo unidirecionais.

Na parte inferior do tubo do magazine, um cilindro de ação dupla empurra a peça de trabalho para a parte externa e a posiciona no próximo módulo. Um sensor optoeletrônico pode ser instalado neste dispositivo para detectar a tampas ou peças de trabalho.

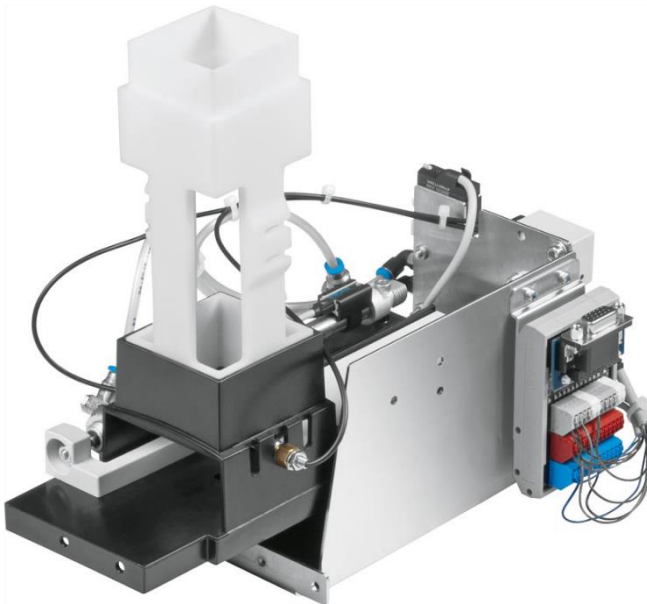


Figura 3 - Módulo Distribuidor de Peças

Módulo - Esteira Transportadora

O módulo é usado para transportar e armazenar peças. Os sensores ópticos de proximidade com cabos de fibra óptica são usados para verificar se as peças estão presentes na entrada do separador de alimentação e no final do transportador.

A correia transportadora é acionada por um motor DC com redução. As peças podem ser paradas e separadas por um separador acionado por um solenoide. As posições finais são monitoradas por sensores de proximidade ópticos.

Um relê permite controlar o avanço e o retorno da esteira.

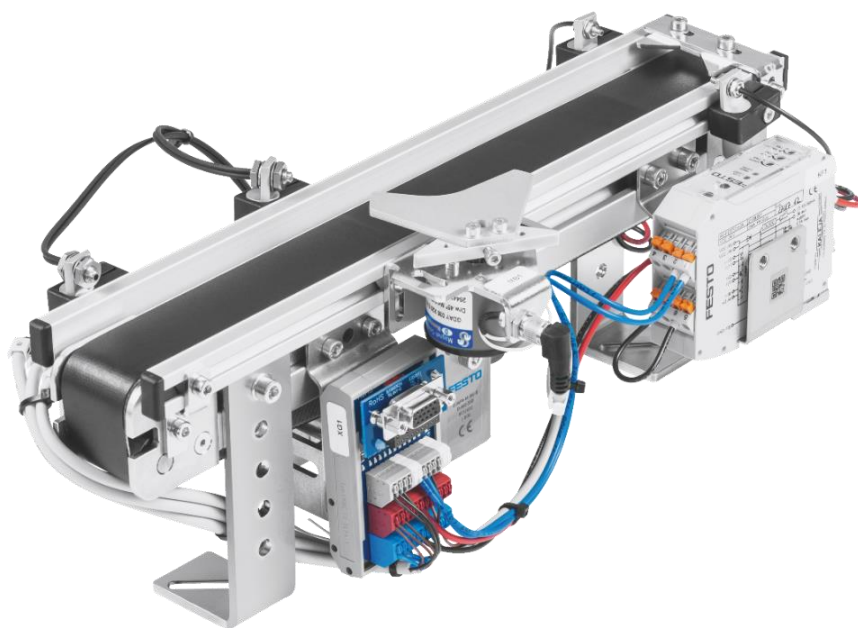


Figura 4 - Módulo Esteira Transportadora

MPS - Estação de Medição

A Estação de Medição executa a verificação das peças que entram no processo produtivo, validando a qualidade de cada peça. Tem capacidade para verificar dimensões, posicionamento correto, identificação de padrões preestabelecidos, além de identificar a presença de dispositivos de comunicação RFId.

Tem como objetivo o estudo de conceitos de qualidade e das tecnologias de sensores digitais e analógicos, sistemas de visão por câmera, sistemas de identificação e gravação de informações por RFId.

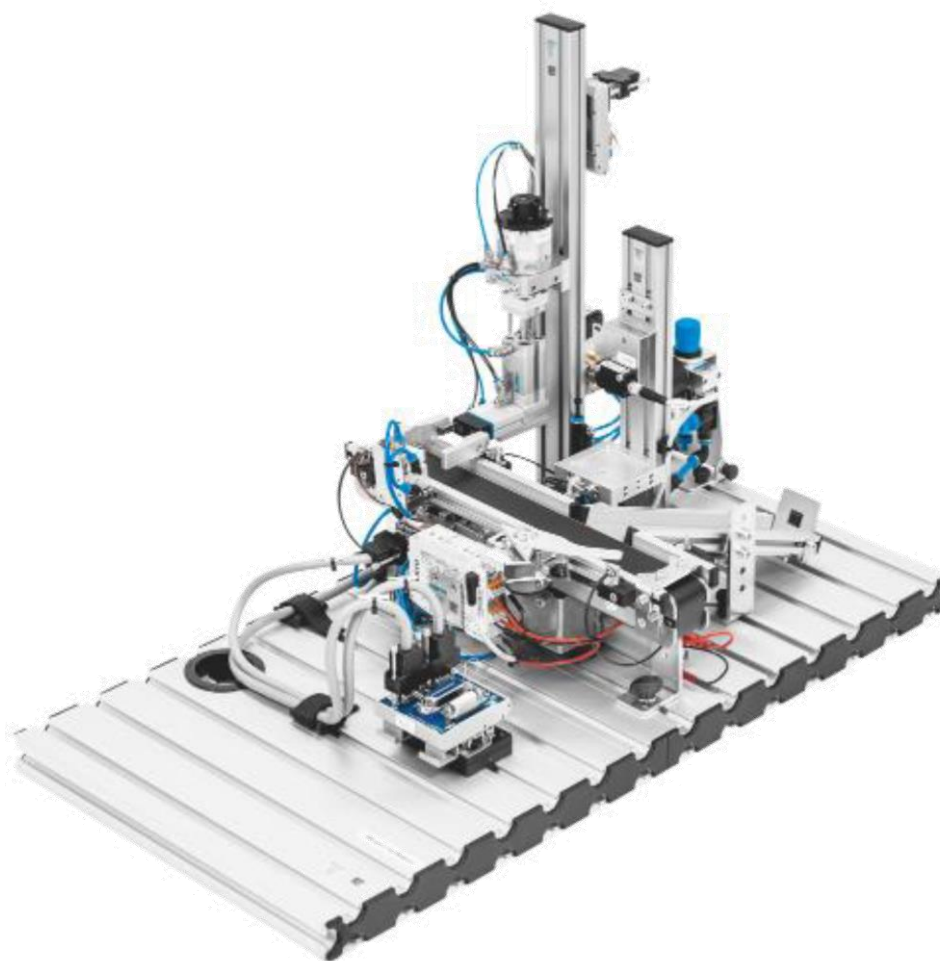


Figura 5 - Estação de Medição

MPS - Estação de Separação

A estação de separação consiste em 2 módulos de transporte. A estação determina a tomada de decisão de um processo produtivo e direciona a produção de peças, de acordo com suas características.

Tem como objetivo o estudo de tecnologias de rotas de produção, sensores digitais e analógicos, processos flexíveis de produção, motores e drivers.

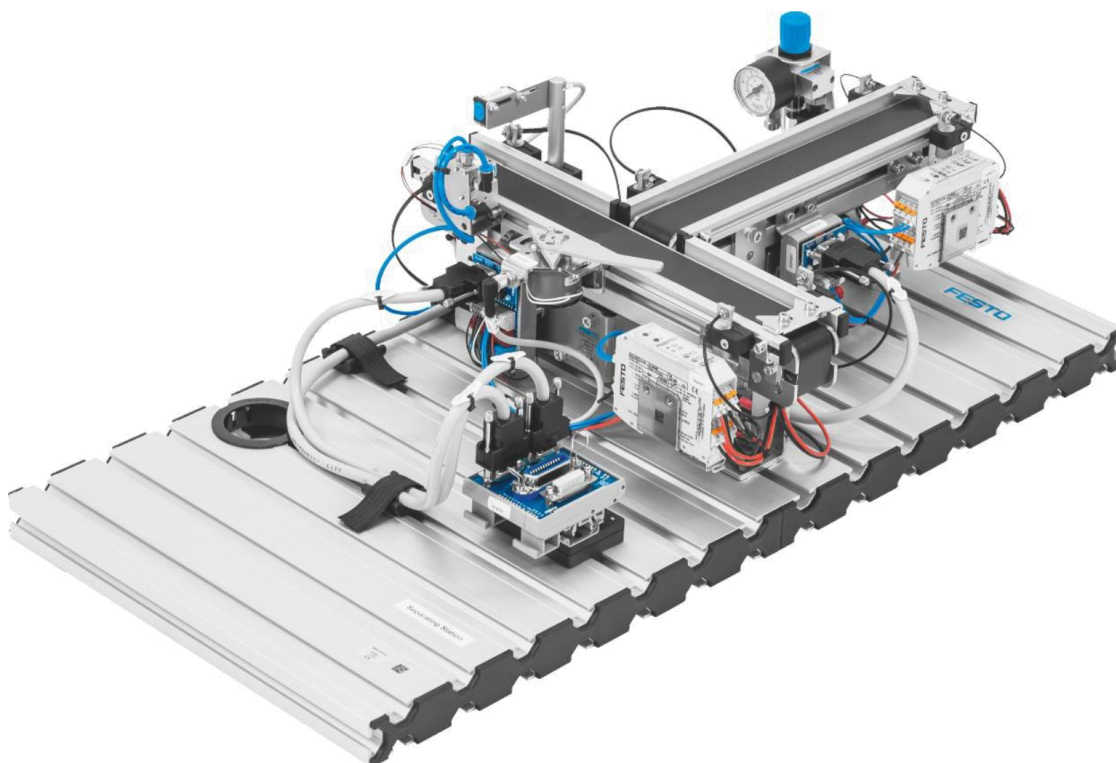


Figura 6 - Estação de Separação

MPS - Estação de Manipulação

A estação de Manipulação ou Pick & Place consiste em módulo de transporte e dispositivo de Pick & Place com vácuo. O processo principal é a montagem de produtos semiacabados com utilização de estoque local e gravação de informações por RFId.

Permite o estudo de dispositivos de montagem, tecnologia de manipulação por vácuo, conceitos de armazenagem, sistemas de identificação e gravação de informações por RFId.

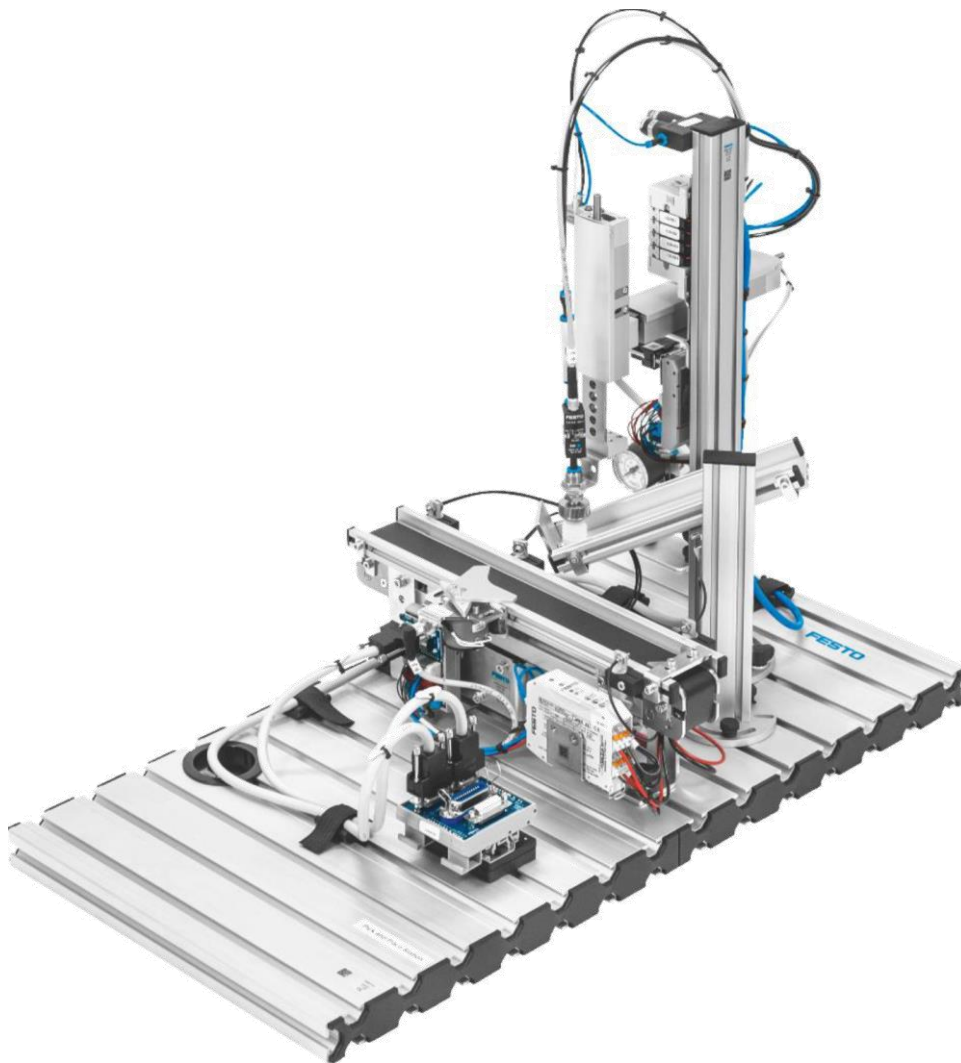


Figura 7 - Estação de Manipulação

MPS - Estação de Armazenamento

A Estação de Armazenamento tem como função diferenciar peças de trabalho com base em sua cor e armazenar até 48 peças em 6 níveis de 2 linhas. Na rampa de entrada, a peça de trabalho é identificada com base na cor com a ajuda de uma combinação de sensores e é armazenada em uma das 48 posições de armazenamento. Um manipulador cartesiano robótico, com motores de passo realiza o manuseio das peças e armazenagem.

A Estação pode ser montada em qualquer posição do processo produtivo, sendo extremamente flexível como um Estação de fornecimento de peças, Buffer intermediário da produção ou de armazenagem final de produtos.

Permite o estudo de tecnologias de armazenagem, logística, motores de passo e drivers de controle, sistemas robóticos de manipulação e processo flexíveis de manufatura.

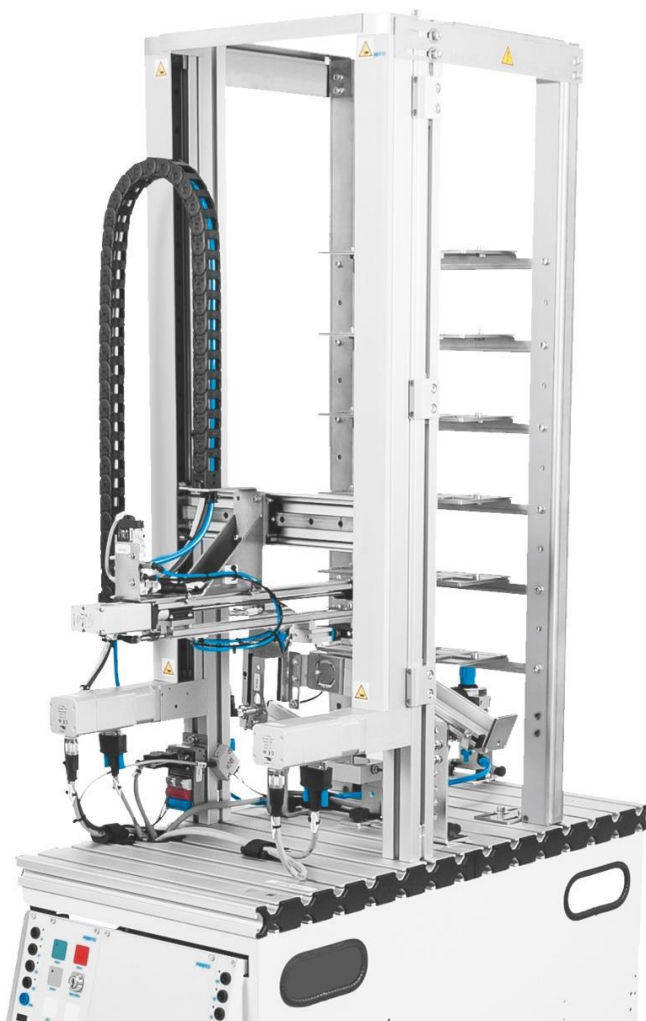


Figura 8 - Estação de Armazenamento

MPS - Estação de Classificação

A Estação de Classificação faz a separação de peças de acordo com as características de cada uma. É uma estação presente no final de uma linha produtiva.

A Estação permite o estudo de sistemas de classificação e armazenamento de peças, construção e lógica de funcionamento de diversos tipos de sensores.

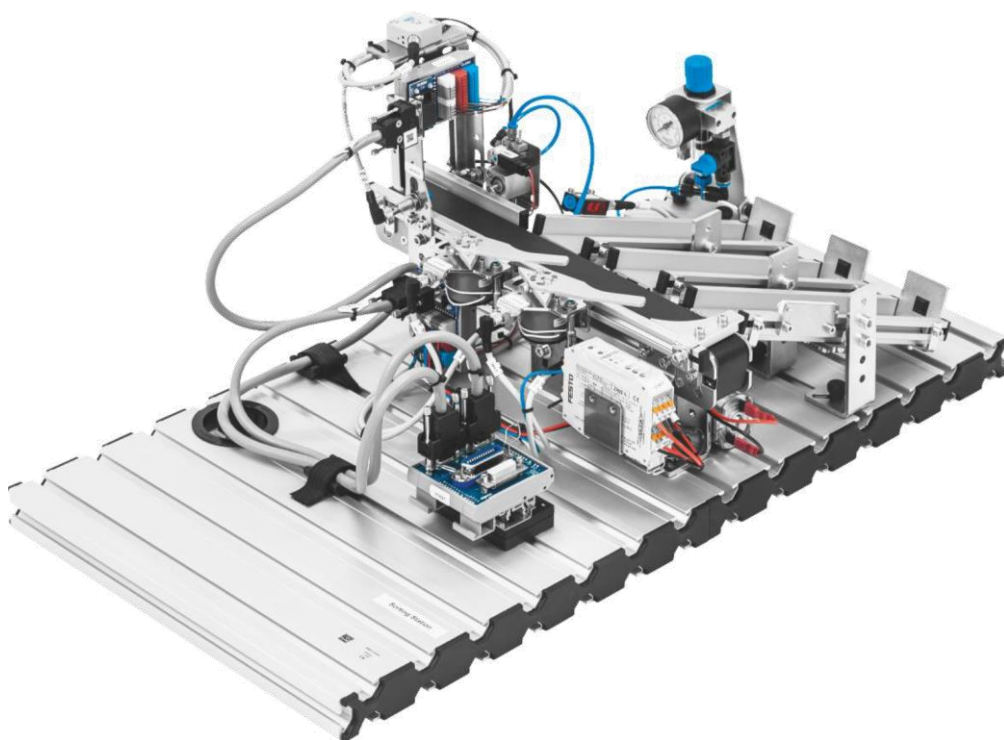


Figura 9 - Estação de Classificação

MPS - Estação de Robô Industrial

A Estação de Robô Industrial executa a montagem completa de peças. É uma estação flexível, pois permite a inserção em qualquer ponto de uma linha de produção. Pode ser adaptada a funcionar de diversas formas.

Os objetivos de estudo incluem a tecnologia de movimentação de robôs, com servomotores AC e encoders absolutos; lógica de trajetória e conformação do envelope de movimentação do braço; programação de alto nível e regras para aplicação da Norma NR12.



Figura 10 - Estação de Robô Industrial

Além das estações e módulos apresentados, o Laboratório Indústria 4.0 da UNINOVE é equipado com os seguintes hardware e software.

Robotino

Um robô com tecnologia de mobilidade omnidirecional, o que significa que pode se deslocar em qualquer direção, portando sensores, câmera com interface USB e um poderoso controlador lógico. O robô pode ser controlado remotamente ou funcionar de forma autônoma, para realizar tarefas predeterminadas.

A utilização pode ser como equipamento para pesquisa de tecnologia do movimento ou para a utilização como um AGV (Automated Guided Vehicle) na movimentação de cargas entre estações de trabalho.



Figura 11 - Robotino

CoDeSys

Codesys (Controller Development System) é um software independente do hardware amplamente usado em automação industrial. Atualmente é a plataforma IEC mais usada na Europa.

Codesys é um ambiente de desenvolvimento para programação de controladores industriais conforme norma IEC 61131-3.



Figura 12 - CoDeSys - Controller Development System

CIROS - Ambiente Virtual de Treinamento

Através da simulação em PC, o software permite criar simulações 3D realistas, mesmo para os sistemas de automação mais complexos.

É possível simular o dinamismo cinético dos sistemas mecatrônicos usando realidade virtual - sem qualquer risco para o ser humano ou máquina.

Os métodos de trabalho e aprendizagem mudaram - e o CIROS oferece suporte a esses novos métodos. Com foco na aprendizagem visual, as atraentes representações virtuais incentivam e motivam todo o processo de aprendizagem.



Figura 13 – CIROS Virtual Training Environment