



**REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA**  
 FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

## **Rastreabilidade no processo industrial baseado em conceitos da Indústria 4.0**

### **Traceability in industrial process based on Industry 4.0 concepts**

**Rubens Nascimento Mota<sup>1, i</sup>**  
**Thiago Tadeu Amici<sup>2, ii</sup>**  
**Jorge Antonio Giles Ferrer<sup>3, iii</sup>**  
**Murilo Torres de Oliveira<sup>4, iv</sup>**

Data de submissão: (14/12/2021) Data de aprovação: (03/10/2022)

#### **RESUMO**

Através da implementação de um projeto de manufatura automatizado aplicando conceitos de Indústria 4.0 desenvolvida pela matriz fabril, denominado INTEGRA, estabeleceu-se um padrão de organização de software, linguagens e hardware em escala internacional. O objetivo do projeto é desenvolver um sistema de rastreabilidade de peças em uma linha de pré-montagem industrial de um cubo de rodas, estabelecendo um rastreamento em várias etapas do processo. Para isto serão utilizadas câmeras de inspeção, sistema de Identificação por Rádio Frequência (RFID), rede industrial utilizando o protocolo PROFINET (PN) para a troca de informações com a rede de TI e carregamento de receitas do processo utilizando a Integração Vertical entre o Sistema de Gestão de Produção (SGP) e os controladores. O sistema também conta com PN/PN *coupler*, prensas elétricas, servos motores e Controladores Programáveis (CPs). O projeto, baseado no INTEGRA, possui uma metodologia de programação e apresentação em interfaces padrão utilizando o Sistema de Visualização (VISU), o que promove um entendimento único operacional entre as plantas do grupo. Nesse conceito fica estabelecido quais componentes, *templates* e blocos padrão de programação devem ser utilizados. Apesar do projeto estar finalizando, fica caracterizada a nova postura da empresa na resolução de problemas envolvendo equipes multidisciplinares de Tecnologia da Informação (TI), Qualidade e Produção, além da equipe de Manutenção que organiza essa sistemática preservando a integridade do produto final e o possível impacto gerado no

<sup>1</sup> Pós-Graduando em Indústria 4.0. Eletrônico de Manutenção na empresa Mercedes Benz do Brasil. E-mail: [motarub@gmail.com](mailto:motarub@gmail.com).

<sup>2</sup> Mestre em Controle e Automação de Processos. Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: [thiago.amici@sp.senai.br](mailto:thiago.amici@sp.senai.br).

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia Mecânica. Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: [jorge.ferrer@sp.senai.br](mailto:jorge.ferrer@sp.senai.br).

<sup>4</sup> Especialista em Controle e Automação de Processos. Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: [murilo.torres@sp.senai.br](mailto:murilo.torres@sp.senai.br).

processo. Este impacto pode ser analisado pela aplicação do sistema de rastreabilidade integrado ao sistema SGP, antes e depois da ocorrência.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0; Rastreabilidade do Produto na Produção; RFID; Sistema de Visão; Integração Vertical.

## ABSTRACT

Through the implementation of an automated manufacturing project applying Industry 4.0 concepts developed by the factory headquarters, called INTEGRA, a standard for the organization of software, languages and hardware on an international scale was established. The objective of the project is to develop a traceability system for parts in an industrial pre-assembly line for a wheel hub, establishing a traceability in several stages of the process. For this, will be used inspection cameras, Radio Frequency Identification (RFID) system, industrial network using the PROFINET (PN) protocol to exchange information with the IT network and load process recipes using Vertical Integration between the of Production Management (SGP) and the controllers. The system also has a PN/PN coupler, electric presses, servo motors and Programmable Controllers (PLCs). The project, based on INTEGRA, has a programming and presentation methodology in standard interfaces using the Visualization System (VISU), which promotes a unique operational understanding between the group's plants. This concept establishes which components, templates and standard programming blocks should be used. Despite the project being finalized, the company's new posture in solving problems involving multidisciplinary teams of Information Technology (IT), Quality and Production, in addition to the Maintenance team that organizes this system, preserving the integrity of the product and the possible impact generated in the process. This impact can be analyzed by applying the traceability system integrated into the SGP system, before and after the occurrence.

**Keywords:** Industry 4.0; Product Traceability in Production; RFID; Vision System; Vertical Integration.

## 1 INTRODUÇÃO

O termo Indústria 4.0 foi abordado em um evento de 2011, em Hannover na Alemanha, apresentando uma proposta política de alta tecnologia conciliando produtividade e competitividade. Em suma, esta proposta visa aliar a alta tecnologia com o uso de Inteligência Artificial, *Big Data*, robótica e sensores inteligentes conectados uns aos outros por meio da Internet, criando uma cadeia de valor conectada.

Essa evolução pode ser observada pela Figura 1, da primeira a atual revolução industrial na linha do tempo.

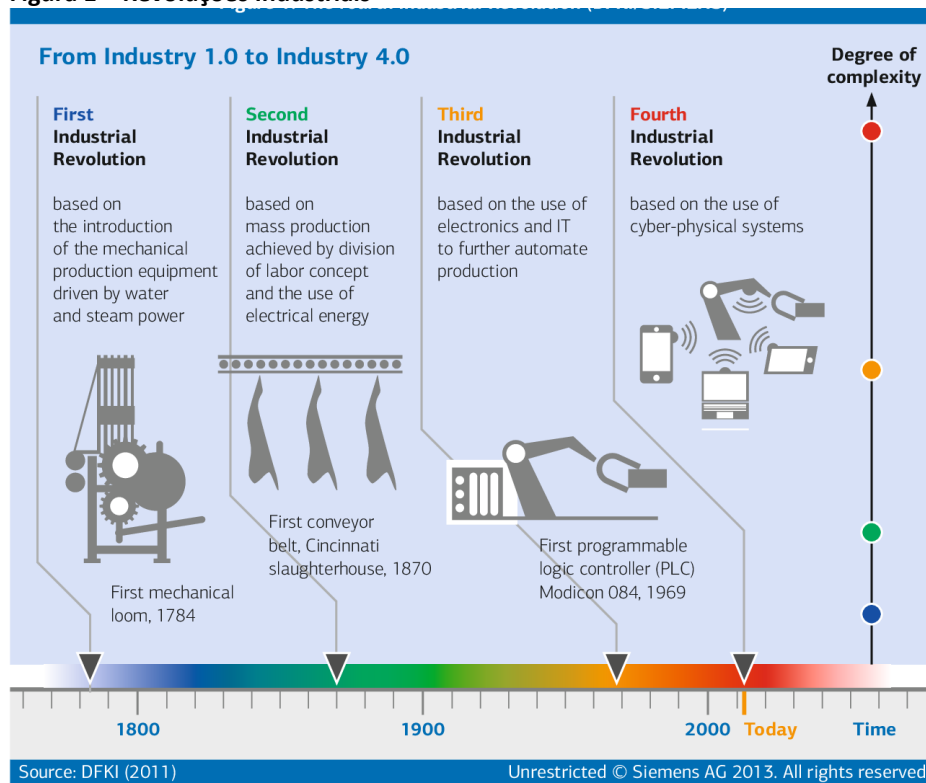
A quarta revolução industrial propõe a criação de fábricas inteligentes com autonomia para detectar falhas e se adaptar aos requisitos não planejados na produção. O professor alemão Schuwab (2016) classifica essa “revolução” em três categorias:

- a) Física: Veículos autônomos, impressão 3D, robótica avançada e novos materiais;
- b) Biológica: Genética, genômica e biologia sintética;
- c) Digital: Sensores, Internet das Coisas, *Blockchain*, Computação em Nuvem e Big Data.

A Cibersegurança é um outro elemento ligado diretamente a Indústria 4.0. Ela demonstra que quanto mais estamos conectados à Internet maior a vulnerabilidade, ou exposição de dados e informações. Com isso, surge um novo modelo de negócio para a proteção de computadores, dispositivos industriais e servidores contra ataques maliciosos bem como o sequestro de dados de corporações, já que esses dados são altamente valiosos.

Segundo a *National Cyber Security Index - NCSI (2021)*, que avalia o índice global de segurança dos países para prevenir ameaças cibernéticas e gerenciar incidentes cibernéticos, o Brasil ficou na 73ª posição de 160 países em 2021. Ela também associa sua pontuação com outras agências como a *Global Cybersecurity Index*, a *Information and Communication Technologies (ICT) Development Index* e a *Networked Readiness Index*. Isso demonstra a nossa vulnerabilidade em segurança cibernética.

**Figura 1 – Revoluções Industriais**



Fonte: Hartmann e Bovenschulte (2013)

Com base nesses conceitos demonstrados, o objeto do projeto é desenvolver um sistema de rastreabilidade de peças em uma linha de pré-montagem industrial de um cubo de rodas.

Resumidamente, o Sistema de Gerenciamento de Produção (SGP) cria o Número do Produto (NP) para os produtos semiacabados que serão utilizados na montagem final. Esse NP carrega todas as informações que esses componentes necessitam para serem montados, bem como a receita com valores de torque, distância, ângulos, volume e escolha de inserção de componentes. Esse código é recebido na entrada da linha e o restante das estações de pré-montagem se preparam para iniciar a montagem, o que denominamos de *setup*. A partir da primeira estação, essas informações passam a ser gravadas em uma *tag High Frequency (HF)* de 2Kb que durante o processo, vai conversando com os dispositivos de automação e de TI. Conforme as etapas são finalizadas, essas informações são transferidas para um servidor que

analisa se os produtos semiacabados foram montados corretamente, finalizando uma estação e iniciando a próxima etapa.

Além do controle realizado pelo servidor, cada estação possui dispositivos para garantir os resultados precisos em suas etapas, como prensas elétricas que, além de serem mais eficientes energeticamente, possuem maior precisão de controle do curso e força.

As estações possuem também uma precisão na injeção de compostos lubrificantes, verificação por câmeras de inspeção e medição por sensores analógicos, que asseguram a finalização de cada etapa do processo.

A comunicação de automação é baseada em rede PROFINET (PN) com trocas de informações por outras redes PROFINET via PN/PN *Couplers*. Os PLCs e Interfaces Homem-Máquina (IHMs) seguem uma programação de forma padrão orientados pela empresa matriz, onde cada função a ser executada é baseada em um bloco parametrizável. As informações mostradas nas IHMs seguem o mesmo padrão.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Sistema RFID

É um sistema de rádio frequência que lê ou grava informações em um *transponder* (*tag*) a uma distância determinada pela faixa de frequência que operam.

Sua história começou na aviação militar, onde foi desenvolvido um sistema de rádio frequência emitido por uma base militar. Quando o avião respondesse, essa frequência era considerada “amigo”, caso contrário uma ameaça em potencial.

A leitura é efetuada através de uma antena e as informações são gravadas em um *tag* quando exposta há um campo de indução. Sua aplicação é ampla como em pagamentos via celular por aproximação, controle de estoque, sistema de pedágio etc. Sua operação está relacionada a frequência de operação e formato do campo de indução.

#### 2.1.1 Antenas RFID

Diferentemente das *tags*, a antena não é acessada pelo usuário. Elas são instaladas de forma estratégica para garantir a cobertura do sinal de radiofrequência e tem a capacidade de transmitir e receber a radiação na direção desejada.

Essas antenas podem ser descritas conforme classificação pela I3C (2020):

Antenas Eletricamente Pequenas: Com estrutura bastante simples, essas antenas são aquelas que o comprimento físico, na frequência de operação é muitas vezes menor que o comprimento da onda.

Antenas Ressonantes: São adequadas para uma pequena largura de banda. Nesse modelo uma das dimensões é aproximadamente metade do comprimento da onda, então ressoam na frequência da operação.

Antenas de Banda Larga: Possuem um desempenho aceitável de um ou mais de seus parâmetros em uma faixa larga de frequências.

Antenas de Abertura: Possuem uma região aberta que propagam ondas eletromagnéticas. (I3C, 2020).

### 2.1.2 Tags RFID

Essas etiquetas, também são chamadas de *transponder* (*transmitter + responder*), possuem a capacidade de se comunicar através de uma antena e armazenar informações na memória da *tag*. Em um projeto, a escolha da *tag* é determinante em função da capacidade de dados, frequência de operação e classificação.

Segundo a consultoria I3C (2020), os tipos de memórias dessas *tags* podem ser:

- a) Read Only (RO): Somente de leitura e possuem apenas um número de série.
- b) Write Once/ Read Many (WORM): Oferece a possibilidade de efetuar uma gravação de dados e várias leituras.
- c) Read/Write (RW): Possibilidade de escrita e leitura de dados de forma ilimitada, porém são susceptíveis a adulteração de dados.

Outro diferencial é a sua classificação de ser ativa (com bateria), o que potencializa o alcance de leitura como exemplo a localização por GPS. Ela também pode ser passiva (sem bateria), comumente usada na indústria e comércio e são alimentadas por um campo magnético ficando a depender do potencial de transmissão do leitor RFID.

### 2.1.3 Tipos de RFID

Conforme Bassani (2019): “Os tipos de RFID são classificados quanto a sua frequência e são chamados de Low Frequency (LF), High Frequency (HF), Ultra High Frequency (UHF) e Microwave (MW)”.

Suas características são apresentadas abaixo:

- a) RFID HF: O sistema (HF) exclusivamente atua com 13,56 MHz até 1 metro. Muito utilizado na indústria no controle de estoque, troca de dados nas etapas do processo de montagem auxiliando o controle de rastreamento e envio dessas informações para um servidor e estabelecendo outros tipos de controle de demanda fabril. Por trabalhar em curta distância e realizar a leitura de um dispositivo por vez, essa tecnologia se torna segura para transmissões que exigem esse quesito.
- b) RFID UHF: A faixa UHF funciona entre 300 MHz e 1 GHz possibilitando trabalhar até 8 metros livres, devido a sua tecnologia de comunicação que atua através de ondas eletromagnéticas efetuando a leitura de várias *tags* simultaneamente. É necessário mantê-lo longe de qualquer obstáculo, pois dificilmente penetra outros materiais.
- c) RFID MW: O tipo *microwave*, ou micro-ondas, funciona entre 1GHz e 300GHz. É um dos tipos de RFID mais utilizados em veículos, para realizar a cobrança de pedágio. Devido sua alta velocidade de transmissão de dados de 1 Mbit/s, é uma ótima escolha para realização de leituras e gravação de objetos em movimento, podendo ter o alcance máximo de 30 metros para trabalhar.

## 2.2 Integração Vertical

A Integração Vertical permite que todos os níveis da fábrica estejam interagindo constantemente desde o executivo até ao chão de fábrica. Isso ocorre na Indústria 4.0 através de sua infraestrutura conectada com os sistemas de automação e TI.

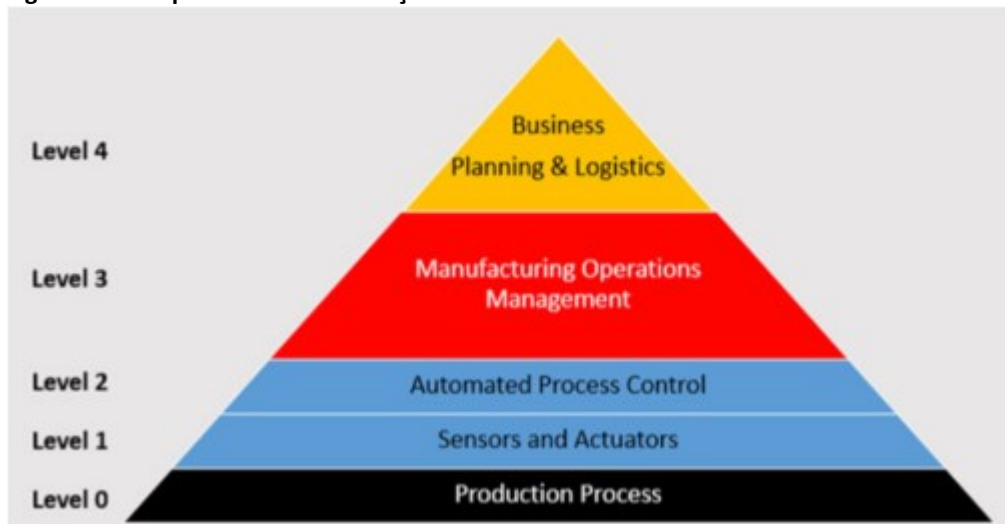
Os níveis hierárquicos são:

- a) Nível 0 - Processo Produtivo: Processo inerente à cada empresa;

- b) Nível 1 - Sensores e Atuadores: A leitura de dados é feita pelos sensores e a execução dos comandos vindos dos CPs pelos atuadores;
- c) Nível 2 - Controle de Processo Automático: Verificação de prioridades, monitoramento e controle através dos sistemas *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) e controle de processo por meio de (CPs) com base em protocolos de comunicação mais eficientes.
- d) Nível 3 – Gestão das operações de manufatura: Gestão, planejamento, gerenciamento de qualidade e processo através do software *Manufacturing Execution System* (MES), também chamado de *Manufacturing Operations Management* (MOM).
- e) Nível 4 - Planejamento dos negócios e logística: Gestão de pedidos, controle geral de produção, logística interna e desempenho da empresa através do software *Enterprise Resource Planning* (ERP).

Essa integração entre os níveis da nova Pirâmide da Automação para realizar a Integração Vertical é mostrada na figura 2.

Figura 2- Nova pirâmide da automação



Fonte: Andrade (2018)

Na indústria é comum o uso do *Product Lifecycle Management* (PLM), que é um sistema de controle e registro de produtos em todos os estágios de desenvolvimento, do conceito à produção. Associado ao MES, cria-se dados sobre os materiais necessários para a produção.

Segundo Pederneiras (2019):

Na indústria 4.0 a tecnologia consegue imprimir mais inteligência e precisão nos processos fabris, por meio da integração de todas as suas pontas. Mas olhar para tudo isso e questionar como melhorar ainda mais este processo, só pode ser pensado pela mente humana. Além da integração das máquinas e processos, deve existir também uma conexão de ideias para gerar resultados cada vez melhores. (PEDERNEIRAS, 2019)

A figura 3 mostra a Integração Horizontal na Indústria 4.0, conectando os parceiros com a fábrica para uma resposta positiva ao cliente mediante a automação dessas informações.

Isso possibilita um melhor planejamento no atendimento e nas operações com base em informações de um ecossistema horizontal como valor, cumprimento de prazos, organização fabril relacionado a produção e logística, entre outros.

Figura 3 – Integração Horizontal



Fonte: Romano (2017)

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Linha de pré-montagem do cubo de rodas

O processo se baseia em um conjunto de pallets onde ficam as peças que receberão componentes em cada célula de trabalho. Essa transição é realizada por um sistema de transporte motorizado por roletas em série (sentido único). Cada pallet possui uma *tag* HF para a troca de informações de processo e qualidade do produto que ele carrega.

A figura 4 mostra o layout da linha de Pré-Montagem. O indicativo 1, se refere ao "Terminal de Manutenção e Programação", que permite acesso aos dados que vem do MES como receitas e liberações de fim de processo, acesso aos PLCs, remotas e redes, além da visualização geral do status da linha e programação.

Em cada terminal fica uma animação demonstrando o passo a passo do processo, com a opção de visualizar o programa na linguagem *Grafset* para identificar qual transição e que condição falta para prosseguir o sequenciador. Ao mesmo tempo, uma outra tela demonstra

as especificidades do processo como receita, NP etc. Na falha de retorno de validação do IoT é possível acessar essas informações e atualizar o SGP.

**Figura 4 – Organização da linha de pré-montagem**



Fonte: Elaborado pelo Autor

### 3.2 Início de processo

O servidor estabelece qual o Número do Produto (NP) que vai ser carregado no produto semiacabado até a montagem final. Nessa primeira estação é inserido a sigla OPXX, que significa o número da célula de operação que executa o serviço, e separado no pallet os kits que serão usados ao longo do processo. Uma vez montado o kit, o Sistema de Gestão da Produção (SGP) é atualizado para o operador da estação. Neste caso, o SGP é o Sistema de Execução de Manufatura (MES) e o *Production Manager* (PRM) atua como um *gateway* para atualizar o PLC e gravar as informações em uma *tag* HF que vai carregar consigo a receita de informação deste produto a ser montado, como modelo, parâmetros de prensagem, torque, fluídos, além de auxiliar o bloco *data shift* no PLC com dados do processo.

Uma vez que cada célula, ou posto de operação (OPXX) termina seu processo, um bloco *function* (FC) vai montando de forma sequenciada uma lista de NPs para a visualização,

verificando se o primeiro elemento que entra é o primeiro que sai no bloco *First In First Out* (FIFO). Outro bloco *data shift* dispara essa FIFO retirando o dado da primeira lista e atualizando o bloco FIFO da próxima estação de operação.

Em caso de intervenção nessa lista, um outro bloco FC, permite corrigir essa lista através de um disparo de *Data Tracking*. Por último, nessa célula, um sistema de visão confirma se o modelo do produto condiz com o modelo criado pelo NP, para que não tenha problemas ao longo da montagem no processo. A automação prepara o *setup* da máquina de acordo com o carregamento que o SGP/PRM faz nos blocos de função (*data block*) do PLC. No final do ciclo de operação, o PLC envia a informação de resultados da operação para o PRM/SGP. O SGP analisa e devolve como redundância a liberação do produto para sequenciar a tarefa na próxima operação de montagem. Toda a informação é atualizada e armazenada nas *tags* HF e o SGP rastreia o processo e alimenta um banco de dados com imagens e parâmetros de cada produto produzido, para que possa ser utilizado para futuras consultas do produto que pode estar em processo ou finalizado.

O sistema se baseia na Integração Vertical, onde o SGP (MES) dispara a demanda para um *gateway* via software (PRM), que se relaciona com os PLCs. Os PLCs, por sua vez, enviam um fluxo de informações que é processado pelo PRM. Este retransmite as informações para o SGP (MES), que ao mesmo tempo espelha informações de processo para a visualização do operador. Dessa maneira o SGP garante a gestão das informações da produção para controlar a qualidade e a melhoria contínua do processo obtidos pela automação.

### 3.3 Processo Intermediário e Final

Nesse processo é onde concentram as células de prensas servos-acionadas (prensas elétricas), células de aplicação de lubrificantes e torqueadeiras.

Na primeira célula de trabalho é onde se prepara os kits de montagem e é realizada a criação do NP do produto final a ser montado ao longo do processo carregado na esteira. A NP, bem como a receita do produto é gravada na *tag* HF neste momento. Ao entrar na célula de montagem, a automação realiza o *setup* do equipamento de acordo com a receita que leu na *tag* HF na estação anterior. Essas informações são confrontadas pelo SGP (MES) a fim de garantir a qualidade do processo. Em cada operação de trabalho é possível rastrear seus parâmetros finais.

Nas células de prensagens pode-se garantir o posicionamento e a força. Um sistema de “Envelope” armazena todas as curvas gráficas do processo e sugere quais limites podem ser atribuídos ao processo. Em caso de falha de prensagem, esta é detectada e a operação pode ser refeita ou abortada. Essas informações são gravadas na *tag* para que a célula seguinte decida se continua o processo ou envie para descarte.

Nas operações onde há o engraxe, o sistema é aferido por balanças digitais. No caso de erro de pesagem, o sistema faz uma nova aferição e reinicia o processo. Por último, para futuros rastreios, câmeras fotografam o resultado do processo.

Uma vez que o produto é finalizado em sua última operação da linha de pré-montagem, o SGP (MES) determina se ele será encaminhado para um processo de armazenamento (buffer automatizado) ou encaminhado para a montagem final via Veículo Autônomo Guiado/*Automated Guided Vehicle* (AGV), ou Veículo Autônomo sobre Trilho/*Rail Guided Vehicle* (RGV), dependendo da linha que o está solicitando. O sistema SGP/PRM toma as decisões e envia as informações para a outra linha através de acopladores PN/PN.

### 3.4 Controladores Programáveis e dispositivos

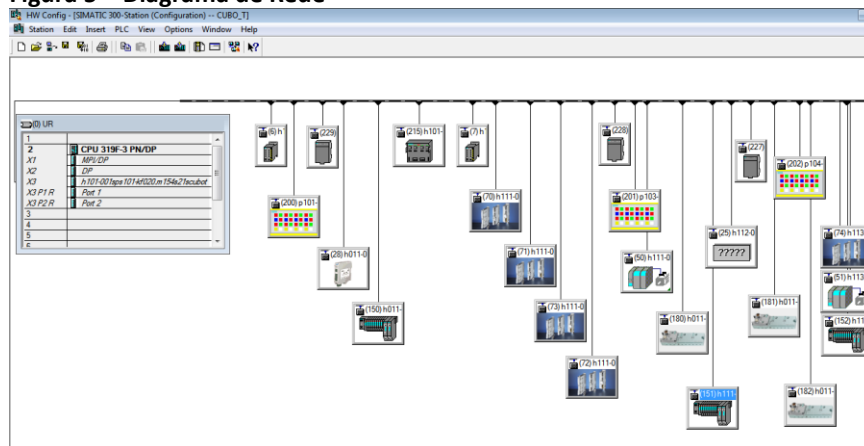
Os Controladores Programáveis (CPs), ou PLCs, se comunicam através de vários protocolos, pelos quais enviam os dados do chão de fábrica e dos sistemas prediais diretamente para a nuvem.

Pode-se criar um sistema de telemetria, onde sensores enviam dados para o PLC e este transmite-os para um servidor local onde esteja rodando o MES, ou para a nuvem. Estes dados podem ser tratados em um programa como o *Power BI*, disponibilizando ao usuário acesso as essas informações de qualquer local e dispositivo, como um celular.

Os PLCs e dispositivos em geral utilizados nesse projeto pertencem a marca SIEMENS, como o PLC S7-300 (CPU319F) e as remotas ET-200S que estão interligados em rede PROFINET. Estes são responsáveis pelo controle da automação e gerenciamento de informações.

Nesse processo, todos os dispositivos de campo, como sensores, são conectados a uma remota em PROFINET, o que resulta em um sistema mais enxuto e seguro conforme mostra o diagrama de rede, configurado no *Simatic Manager*, da Figura 5.

Figura 5 – Diagrama de Rede



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 3.4.1 Programação

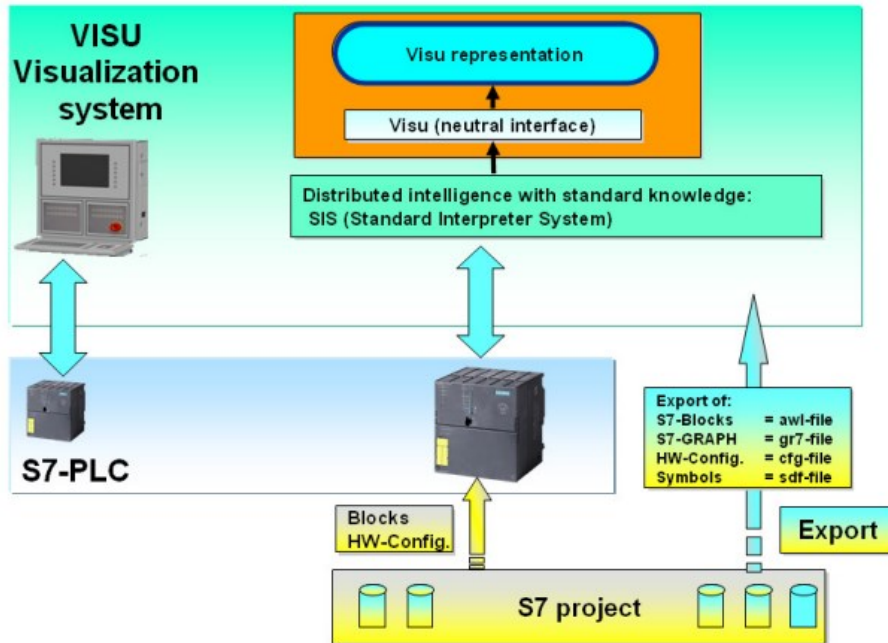
A programação é baseada em *Ladder*, *STL* e *Grafset* que faz com que alguns blocos de funções tenha uma interação com o SGP. No entanto, para promover uma automação padrão entre as plantas do grupo, foi desenvolvida uma sistemática de programação e inserção de devices chamado INTEGRA. O sistema INTEGRA foi desenvolvido em conjunto com a SIEMENS, onde se definiu as boas práticas de programação baseadas em blocos de funções. Logo, para cada execução de serviço, deve-se implementar um bloco padrão, como um controle de FIFO ou um comando de abertura de porta de operação, que fazem parte de uma biblioteca de funções que deve ser utilizada no processo.

O acesso às informações é condicionado em níveis de usuário através de um banco de matriz de capacitação.

Os dispositivos já são padronizados pela empresa matriz, como servo motores, inversores de frequência, Computadores Industriais/*Industrial PC* (IPCs), terminais de válvulas etc. Todos os dispositivos de campo são interligados em rede PROFINET ou convertidas para ela.

A visualização de dados do processo não é mais compartilhada por IHMs, mas sim por aplicativo chamado *Visualization System (VISU)*, que traz todas as informações de automação e gestão do processo. Na figura 6 é mostrada sua integração com a automação.

Figura 6 - Integração entre PLC e VISU



Fonte: Reyer (2015).

O VISU faz parte do sistema INTEGRA, e roda em um computador industrial denominado IPC SIMATIC BOX, mostrado na figura 7. Ele pode funcionar como um gateway, o que facilita a comunicação entre chão de fábrica, nuvem ou outras camadas de TI.

Figura 7 - PC Industrial SIEMENS

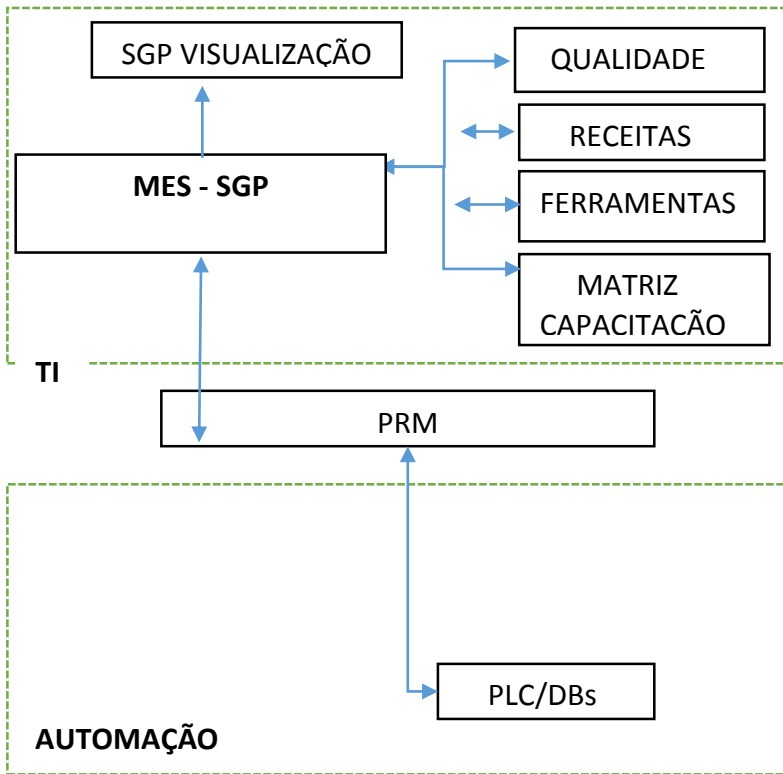


Fonte: SIEMENS (2021a)

O software de programação utilizado na planta do Brasil é o *Simatic Manager*, diferente da empresa matriz, que utiliza o *Totally Integrated Automation (TIA) Portal*.

O sistema SGP (MES) controla a gestão desse processo que possui módulos dedicados de diferentes tipos de operação como mostra a figura 8, contendo informações de qualidade, registros de receita e número do produto semiacabado, além de outras informações de medidas como torque, força etc.

Figura 8 – Integração MES e Automação através do PRM



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esses módulos interagem com o *Partner Relationship Management (PRM)* que faz a ligação entre TI e camada inferior de automação interferindo nos dados dos *Data Blocks (DBs)* mostrados na Figura 9. Ao mesmo tempo um outro módulo, denominado SGP Visualização, registra para o operador do processo, todas as informações necessárias ao produto.

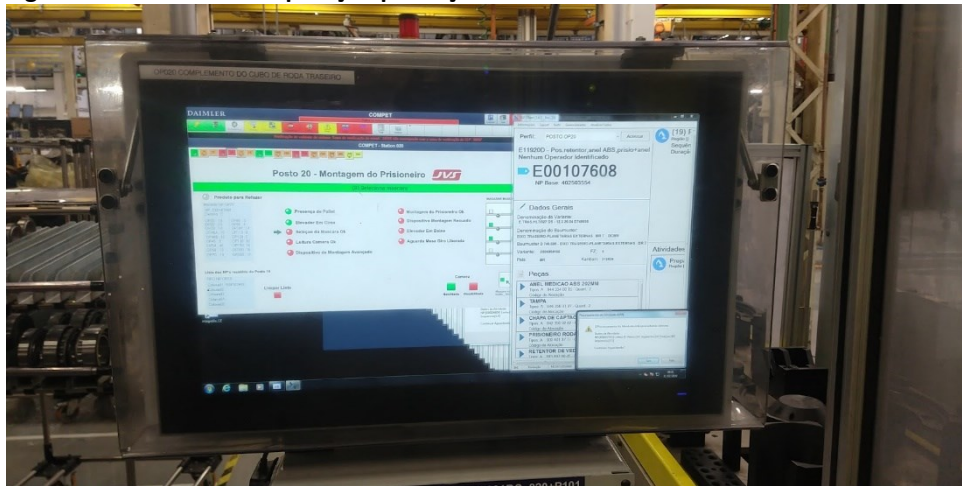
Figura 9 - DBs de controle

Objekt name	Symbolic name	Comment	Created in language	Size in the work me.	Type	Version (Header)	Name (Header)	Unlink
DB1212	FGDB_041XTA001_GFX0	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1213	FGDB_041XTA002_GCR1	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1214	FGDB_041XTA003_GCR2	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1215	FGDB_041XTA004_GRS0	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1536	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1216	FGDB_045XTA001_GFX0	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1217	FGDB_045XTA002_GCR1	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1218	FGDB_045XTA003_GCR2	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1219	FGDB_045XTA004_GRS0	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1536	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1220	FGDB_050XTA001_GFX0	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1221	FGDB_050XTA002_GCR1	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1222	FGDB_050XTA003_GCR2	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1223	FGDB_050XTA004_GRS0	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1536	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1224	FGDB_060XTA001_GFX0	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1225	FGDB_060XTA002_GCR1	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1226	FGDB_060XTA003_GCR2	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1227	FGDB_060XTA004_GRS0	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1536	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1228	FGDB_070XTA001_GFX0	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1229	FGDB_070XTA002_GCR1	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1230	FGDB_070XTA003_GCR2	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1231	FGDB_070XTA004_GRS0	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1540	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1232	FGDB_080XTA001_GFX0	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1233	FGDB_080XTA002_GCR1	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1234	FGDB_080XTA003_GCR2	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1235	FGDB_080XTA004_GRS0	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1536	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1236	FGDB_090XTA001_GFX0	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1237	FGDB_090XTA002_GCR1	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1238	FGDB_090XTA003_GCR2	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1239	FGDB_090XTA004_GRS0	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1536	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1240	FGDB_100XTA001_GFX0	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1241	FGDB_100XTA002_GCR1	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1242	FGDB_100XTA003_GCR2	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1243	FGDB_100XTA004_GRS0	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1536	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1244	FGDB_110XTA001_GFX0	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1245	FGDB_110XTA002_GCR1	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...
DB1246	FGDB_110XTA003_GCR2	FGDB für allgemeine Telegramme	DB	1036	Data Block	1.3	TigaAll	...

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 10, é possível visualizar um terminal de operação de produção com o sistema VISU e o SGP Visualização. No sistema VISU é possível ver a sequência de passos do processo, ou seja, um espelho da programação realizada no *Grafset* do PLC. Assim, quando ocorrer uma falha, pode-se rastrear a sequência e qual condição a originou, para seguir para o próximo passo. No sistema SGP Visualização pode-se visualizar a receita para o *setup* do equipamento e monitorar a troca dos dados do processo que vão para a equipe de TI.

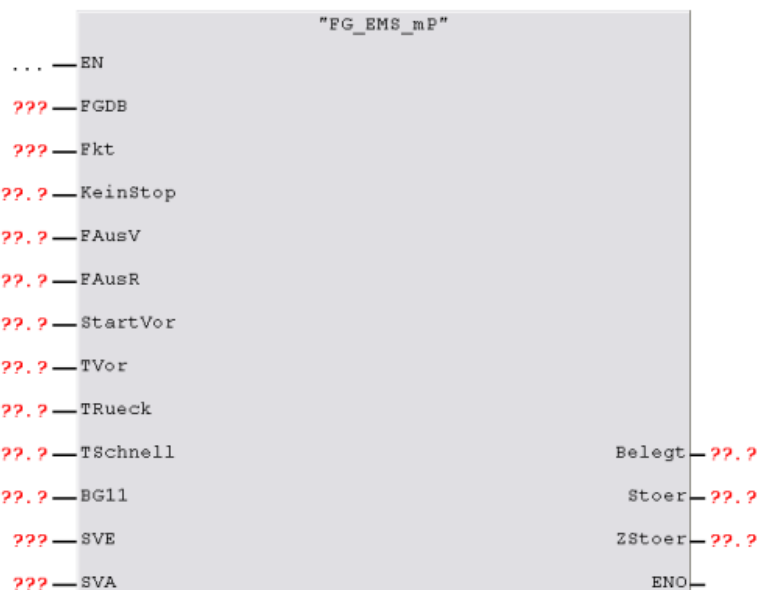
**Figura 10 – Terminal de operação produção**



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 11 mostra uma FC padronizada, denominada FC340, que controla o movimento de um RGV. Deve existir uma lógica que satisfaça as entradas para a liberação do movimento. Essas condições também seguem diretrizes de acordo com o documento.

**Figura 11 - Bloco parametrizado para motor do RGV**



Fonte: Elaborado pelo Autor

### 3.5 Leitor RFID

No processo foi utilizado o leitor RFID HF, modelo RF380R, mostrado na Figura 12. Ele grava e lê as informações do produto que está em processo através da *tag* RFID HF, que opera em 13,56MHz. O PLC através do sensor RFID, envia as informações sobre produto a ser montado na estação e se ele foi aprovado ou não, na estação anterior. No fim da montagem, outra informação é gravada pelo sensor RFID, que são os dados do processo atual, que serão lidos na estação seguinte.

**Figura 12 – Leitor RFID RF380R**



Fonte: SIEMENS (2021b)

Está é a parte fundamental do sistema para o rastreamento das peças que migram entre as células. Ela auxilia o bloco FIFO e carrega todas as informações do produto a ser montado, como força de prensagem, quais componentes foram inseridos no processo, número do produto e qual é o produto final solicitado pelo cliente.

Sua instalação é simples e confiável. O leitor RFID é instalado alinhado com o *tag* HF mostrada na Figura 13. Quando a leitura, ou gravação é iniciada, essas informações passam por uma remota I/O Link, que conecta um grupo de leitores RFID, e depois elas são convertidas em PROFINET para se conectar ao PLC.

**Figura 13 – Tag SIMENS**

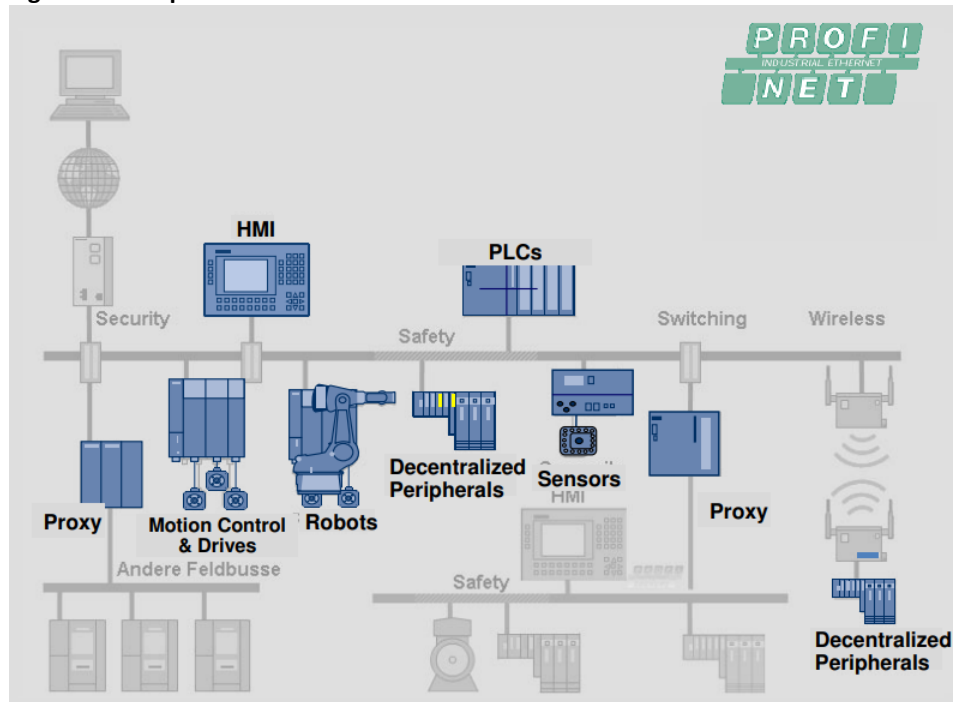


Fonte: SIEMENS (2021c)

Na Figura 14 é mostrada uma parte do programa responsável pela escrita na *tag*.



Figura 15 – Arquitetura de controle PROFINET



Fonte: PI BRASIL (2010, p. 10)

A interação com outras linhas na troca de sinais é realizada pelo PN/PN *Coupler* com transferência de dados das Entradas/Saídas ou *Inputs/Outputs* (I/Os) sem blocos adicionais em ambiente PROFINET.

De acordo com Santos (2017): “A PROFINET é a resposta Profibus à grande tendência da Ethernet”. Logo, essa rede foi a melhor forma de aproximar as informações do chão de fábrica com o ambiente de TI e gestão de produção.

Hoje existem algumas versões do PROFINET, valendo a pena destacar estas duas:

- a) PROFINET Safe: Comunicação segura para aplicações mais exigentes, inclusive envolvendo PROFIBUS e PROFINET. Substitui a necessidade de adoção de barramentos específicos para comunicações seguras.
- b) PROFINET IO: É uma extensão do protocolo PROFIBUS DP utilizando o meio físico Ethernet. Ele opera diretamente com os elementos de campo, realizando leituras de sensores, atualizações dos sinais de saída e controle de diagnósticos da rede. A rede Ethernet Industrial PROFINET IO descreve um modelo de dispositivo que é baseado em características essenciais do PROFIBUS DP, incluindo canais para cada elemento alocado na rede. As características dos dispositivos de campo são descritas via GSD em uma base XML.

Pensando em cibersegurança para a proteção de rede, é obrigatória a instalação de um roteador de segurança inteligente, com uma VPN e um Firewall evitando a interceptação de dados. Além disso, deve-se integrar as redes de automação as redes de nível superior e protegê-las simultaneamente contra o acesso não autorizado usando funções de segurança.

Logo, o componente utilizado que apresentada essas características é o FL MGUARD RS4000 TX/TX VPN, mostrado na Figura 16.

**Figura 16 – FL MGuard RS4000 TX/TX VPN**



Fonte: Phoenix Contact (2021)

### 3.7 Sistema de Visão

O sistema de visão pode capturar imagens, tratá-las de acordo com a necessidade do cliente e enviar o resultado em sinal discreto ou de rede. Na figura 17 é mostrado um controlador do sistema de visão responsável por este tratamento.

**Figura 17 – Controlador do sistema de visão**

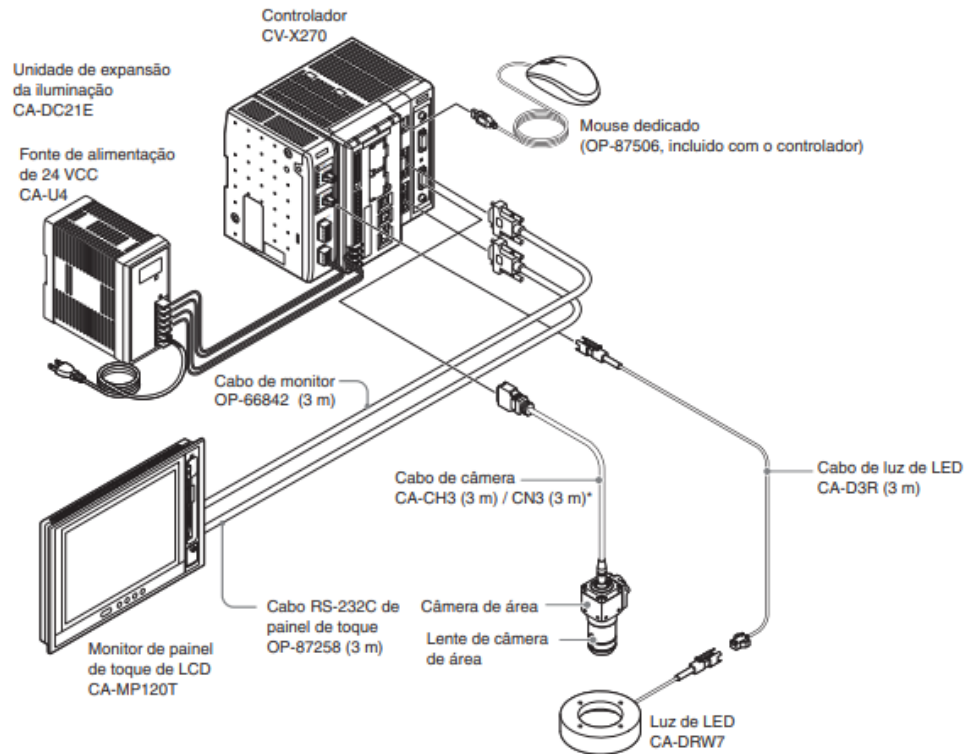


Fonte: Keyence do Brasil (2021)

Nesta aplicação, sua função é verificar se o operador colocou, ou fixou os parafusos, de acordo com a receita que ele recebeu antes de ser prensado.

Sua configuração basicamente é composta: uma câmera, um controlador, onde se possa acessar diretamente os parâmetros de configuração sem uso de um computador pessoal, e um módulo de iluminação conforme mostrado na figura18.

Figura 18 – Componentes do sistema de visão

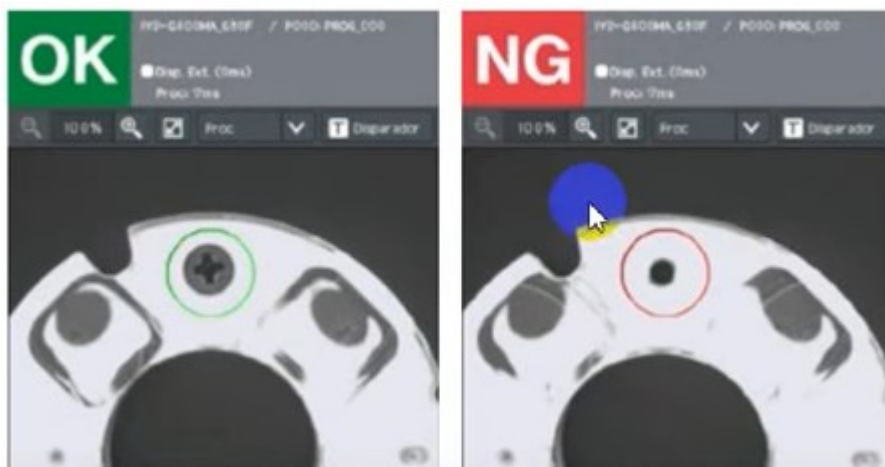


Fonte: Keyence do Brasil (2021)

Esse sistema de visão possui várias aplicações e formas de controle, o que vai de encontro com a proposta da Indústria 4.0. Ele auxilia na medição de componentes, identificação de códigos barras, *data matrix*, *QR code*, além de robôs poderem ser guiados pelos seus dados.

Conforme mostrado na Figura 19, a inspeção foi desenvolvida com base no brilho. O local inspecionado pode determinar qual a intensidade do brilho através do RGB. Ou seja, se a peça estiver com o parafuso montado o brilho se altera, caso contrário o brilho fica aumentado e o sistema de visão não o detecta.

Figura 19 – Software CV-X para análise de imagem



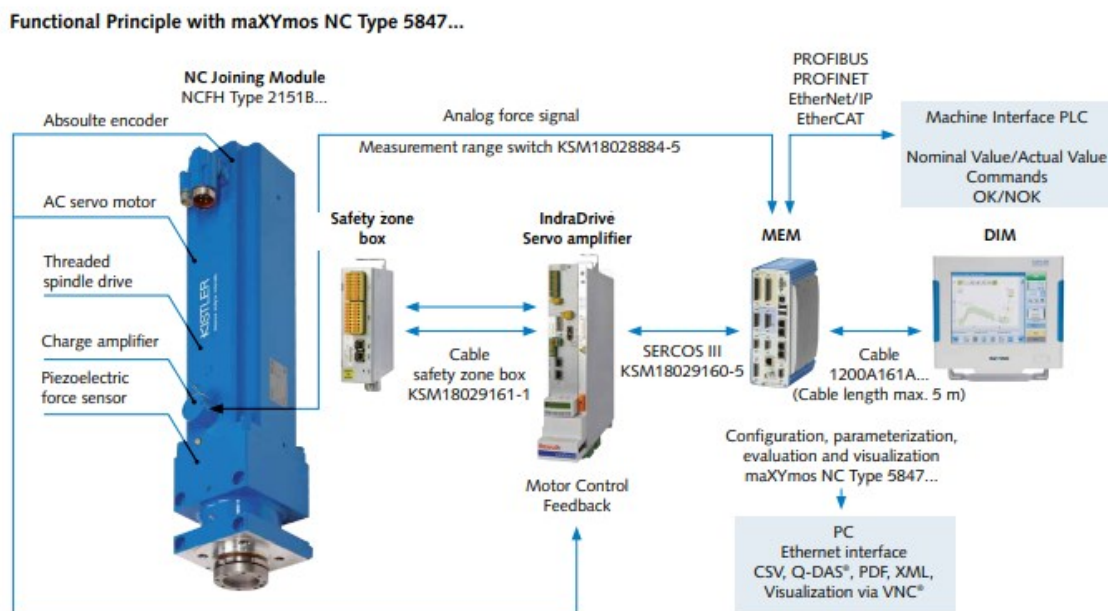
Fonte: Keyence do Brasil (2021)

No sistema transportador, o sistema de visão verifica se o montador inseriu os parafusos em orifícios específicos de acordo com o modelo a ser montado. A automação recebe um sinal via PROFINET de status “OK”, ou “Not OK” (NG), para tomar providências. No terminal de manutenção é possível ter acesso a aplicação para eventuais ajustes.

### 3.8 Prensa servo acionada

Nesse tipo de prensa elétrica, um servomotor é acoplado em um fuso. Quando este é acionado, um encoder absoluto determina a posição e controle de deslocamento da prensa e um outro sensor piezoelétrico indica a deformação do corpo no momento em que o fuso faz a prensagem. Logo, essa deformação do corpo é convertida em força. Esse é o princípio de funcionamento de uma prensa elétrica, servo comandada, ou servo acionada, conforme mostra a figura 20.

Figura 20 – Prensa Kistler



Fonte: Kistler (2017, p. 4)

Segundo Kistler (2022):

Aplicações hidráulicas convencionais requerem 4,4 vezes mais energia do que aplicações eletromecânicas e a tecnologia eletromecânica requer até dez vezes mais energia. Uma vez que os sistemas de união eletromecânicos oferecem maior eficiência, permitem-lhe alcançar poupanças energéticas de 77% comparativamente a sistemas hidráulicos; quando comparado com soluções pneumáticas, as poupanças podem ascender aos 90%. E ainda há mais: graças à elevada eficiência energética, reduz não só as suas emissões de CO<sub>2</sub>, como também os seus custos operacionais. (KISTLER, 2022)

Esta é uma tecnologia que está sendo empregada em larga escala em substituição as convencionais prensas hidráulicas. A grande vantagem está na precisão e garantia de qualidade do processo, já que se pode controlar muitas variáveis do processo de prensagem, como curso e força, elaborar estratégias de prensagem, controlar força no início do processo,

além de controlar a força em um determinado curso de deslocamento, garantindo se a peça que está sendo prensada está com o componente ou se a peça está com o diâmetro fora do especificado. Nesse caso ela realiza a prensagem de rolamento, capa metálica e retentores em um cubo de rodas.

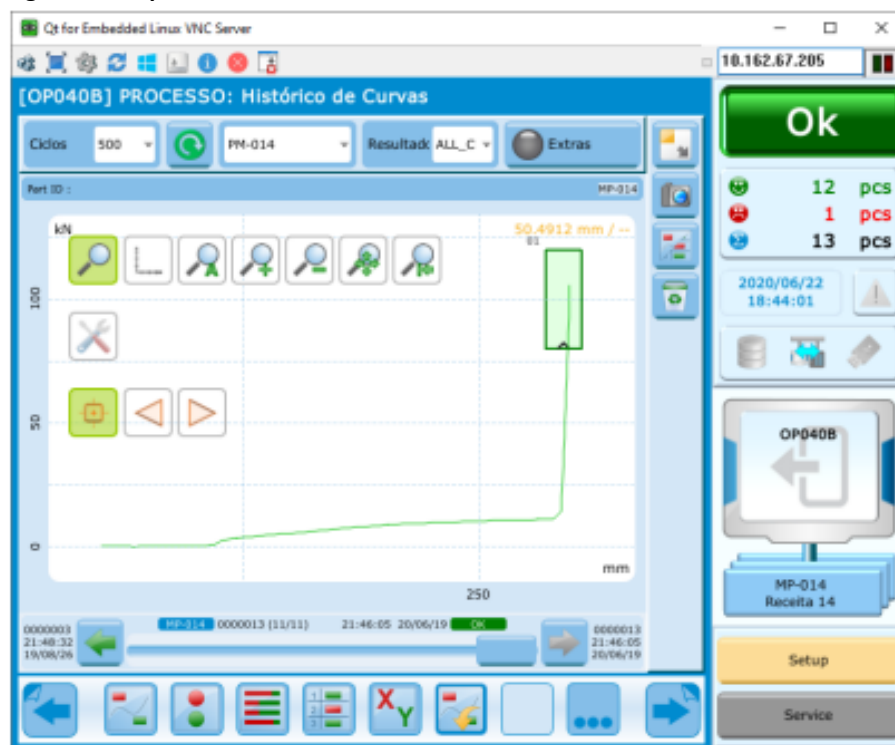
Além do ruído, que é significativo mais baixo do que as prensas hidráulicas, mesmo aquelas que operam com válvulas proporcionais não conseguem obter uma precisão como as prensas elétricas.

Elas podem operar com força superiores a 50kN. Seu servo é comandado por um servo-driver que envia as informações para um controlador e para outros dispositivos de automação em diversos protocolos de comunicação.

Assim como os outros fabricantes, ela possui uma IHM ou software de aplicação, onde se estabelece as estratégias de prensagem.

O software de aplicação pode gerar uma sugestão de estratégias através de alguns ciclos de prensagem, e assim, refinar o processo. Isso garante a indicação de falha caso o dispositivo esteja sem a peça de inserção, ou a peça bruta sofrendo muita interferência. Além disso, pode-se rastrear uma grande quantidade de peças prensadas e o comportamento de suas curvas gráficas conforme mostra a figura 21.

Figura 21 – Aplicativo VNC Kistler



Fonte: Elaborado pelo Autor

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A implementação deste projeto teve início em 2019, com testes em 2020 e em 2021, passando por adequações e validações do processo. A alta tecnologia evidenciada nessa linha de pré-montagem do cubo de rodas foi capaz de gerar mudanças em outros processos da fábrica como o de usinagem, já que a sensibilidade de nossas prensas conseguiu detectar

interferências de medição na usinagem de peças brutas, o que fez que a qualidade avançasse para outras áreas.

Toda peça que sai do final da montagem possui um histórico, que pode ser reavaliado em qualquer momento para a apreciação e alteração de processo, de acordo com resultados em campo. Isto graças a aplicação do sistema de rastreabilidade integrado com o SGP (MES), realizando assim, a Integração Vertical.

Em comparação com a linha anterior, houve um ganho considerável de produtividade, diminuição da interferência humana no processo, redução de ruídos, e consumo de energia.

Para a manutenção, essa linha demonstra a facilidade de substituição de componentes, já que os cabos multivias para os I/Os foram substituídos por remotas I/O que operam em redes Ethernet Industriais.

## 5 CONCLUSÃO

Com a Integração Vertical entre os sistemas, foi possível a inserção na Indústria 4.0 e a mudança do perfil dos manutenedores, onde é necessário um conhecimento cada mais diversificado não somente em eletromecânica, mas ter noções de TI e programação em diversas linguagens, além do desenvolvimento de ferramentas que acompanham essas tecnologias.

As informações de cada produto que saem da linha transportadora, se juntam a outros dados conforme os componentes vão avançando até formar o produto final.

Outra vantagem, é que possível acessar remotamente de qualquer terminal dentro da empresa, informações desse processo e até mesmo diagnosticar defeitos. Além disto, os funcionários da fábrica, também podem acessar os controles de processo sem estar em campo.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Fabrício. Tudo sobre a nova e antiga pirâmide da automação industrial! **Blog automação e cartoons**. 11 jan. 2018. Disponível em: <https://automacaoecartoons.com/2018/01/11/piramide-da-automacao-industrial/>. Acesso em: 22 ago.2022

BASSANI, Fauze Abdallah. Rastreabilidade de produtos na produção através de tecnologia de radiofrequência. **Revista Brasileira de Mecatrônica**, v. 3, n. 3, p. 17-29 jan./mar. 2021 Disponível em: <http://revistabrmecatronica.com.br/ojs/index.php/revistabrmecatronica/article/view/117/11>. Acesso em: 16 mar.2022

HARTMANN, Ernst Andreas; BOVENSCHULTE, Marc. Skills needs analysis for “Industry 4.0” based on roadmaps for smart systems. In: **Using Technology Foresights for Identifying Future Skills Needs. Global Workshop Proceedings**. 2013. p. 24-36. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Skills-Needs-Analysis-for-%E2%80%9C-Industry-4-.-0-%E2%80%9D-Based-Hartmann-Bovenschulte/d7e10b684facd8d9756f3248e0fbb6a7ce7638c7/figure/0>. Acesso em 29 mar.2022

I3C. **Como Funciona o RFID**. 2020. Disponível em: <https://i3csolucoes.com.br/como-funciona-o-rfid/>. Acesso em: 18 mar. 2022

KEYENCE DO BRASIL. **Série CV-X Sistema de Visão Intuitivo Catálogo**. 2021. Disponível em: [https://www.keyence.com.br/download/download/confirmation/?dlAssetId=AS\\_126920&dlSeriesId=&dlModelId=&dlLangId=&dlLangType=pt-BR](https://www.keyence.com.br/download/download/confirmation/?dlAssetId=AS_126920&dlSeriesId=&dlModelId=&dlLangId=&dlLangType=pt-BR). Acesso em 27 set. 2021.

KISTLER. **Prensa servo controlada**. 2017. Disponível em: <https://www.kistler.com/files/document/000-690e.pdf?callee=frontend>. Acesso em: 27 set. 2021.

KISTLER. **Eficiência energética máxima graças a sistemas de união eletromecânicos**. 2022. Disponível em: <https://www.kistler.com/pt/solucoes/controlo-de-processos-industriais/sistemas-de-uniao-eletromecanicos/>. Acesso em: 27 set. 2021

NATIONAL CYBER SECURITY INDEX. 2021. **Capacidade de segurança cibernética governamental**. Disponível em: <https://ncsi.ega.ee/ncsi-index/>. Acesso em: 27 set. 2021.

PEDERNEIRAS, GABRIELA. **Integração entre sistemas na Indústria 4.0**. 31 março 2019. Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/artigo/17953-integracao-entre-sistemas-na-industria-40>. Acesso em: 29 mar. 2022

PHOENIX CONTACT. **MGAUARD RS**. 2021. Disponível em: <https://www.phoenixcontact.com/pt-br/produtos/router-de-seguranca-para-o-trilho-de-fixacao-fl-mguard-rs4000-txtx-vpn-2200515>. Acesso em 27 set. 2021.

PI BRASIL. **Arquitetura de controle PROFINET**. 2010. Disponível em: <https://www.profibus.org.br/downloads/pdfs/SEMINARIO%20PROFINET%20-%2001%20Panorama%20PROFINET%20-%202010.09.pdf>. Acesso em 18 mar.2022.

REYER, Hans. Siemens. **Integra: 000\_b3.026.02.00\_GL-EN\_PLC\_Software\_part1**. v. 50.01. Apostila Interna Mercedes Benz. 2015.

ROMANO, M. Entenda tudo sobre a integração na indústria 4.0 e conheça as integrações horizontal e vertical. **Blog Logique Sistemas**. 2017. Disponível em: <https://www.logiquesistemas.com.br/blog/integracao-na-industria-40/28>. Acesso em 18 mar.2022

SANTOS, L. D. Conheça sobre o Profinet, Protocolos de Rede Industrial. 2017. Disponível em: <http://blog.murrelektronik.com.br/protocolos-de-rede-conheca-os-profinet/>. Acesso em 08 mar. 2022

SCHUWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. São Paulo: Edipro, 2016.

SIEMENS. **SIMATIC IPC127E**. 2021a. Disponível em:

<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/pc-based/iot-gateways/simatic-ipc127e.htm>. Acesso em 27 set. 2021.

SIEMENS. **SIMATIC RF300 Reader RF380R**. 2021b. Disponível em:

<https://support.industry.siemens.com/cs/pd/683184?pdti=pi&dl=en&lc=en-W>. Acesso em 27 set. 2021.

SIEMENS. **MDS D42**. 2021c. Disponível em:

<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10088040>. Acesso em 27 set. 2021.

## AGRADECIMENTOS

A minha família, por me apoiar, incentivar e paciência nos momentos de dificuldades nessa trajetória. Aos mestres pela compreensão e ensinamentos para a realização desse trabalho.

### Sobre os autores:

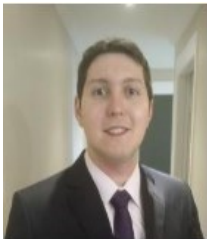
---

#### <sup>i</sup> RUBENS NASCIMENTO MOTA



Possui graduação em Matemática pela Faculdade Fundação Santo André (2000), Pós-graduação em Indústria 4.0 pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2018). Tem experiência na área de Manutenção Eletroeletrônica. É Manutencista Eletrônico na empresa Mercedes Benz do Brasil atuando na área de automação industrial. É professor de cargo efetivo da Secretaria Estadual de São Paulo.

#### <sup>ii</sup> THIAGO TADEU AMICI



Atualmente ministra aulas na pós-graduação de Indústria 4.0 e na graduação em Tecnologia em Mecatrônica na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica, que fica no SENAI Armando de Arruda Pereira. Assessora também o Instituto SENAI de Tecnologia Metalmeccânica em projetos industriais com foco na Indústria 4.0. Durante 7 anos ministrou aulas pelo SENAI-SP, nos cursos de técnicos de Mecatrônica, Automação Industrial, Eletrônica e Eletroeletrônica, além de Formação Inicial e Continuada (FIC) com cursos voltados ao CLP da Siemens. Possui mestrado em Automação e Controle e Processos pelo Instituto Federal de Ciências e Tecnologia de SP (IFSP - 2018), graduação em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia São Paulo (2012), graduação em Tecnologia em Automação Industrial pelo IFSP (2009) e ensino profissionalizante em Eletrônica pela Instituição Liceu de Artes e Ofícios de São Paulo (2002). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, Automação Industrial, Mecatrônica, Robótica e Indústria 4.0. Experiência internacional na

aprovação de linha de produção (Cavemil) em Milão na Itália e sua instalação no Brasil. Participou do desenvolvimento do projeto, programação, montagem e apresentação da Linha de Manufatura Avançada Industrial 4.0 realizada em parceria entre o SENAI-SP e a ABIMAQ, que foi exposta na FEIMEC 2018 e da linha de Confecção 4.0, em parceria entre o SENAI-SP e a ABIT. CV: <http://lattes.cnpq.br/9165856219131658>

### iii JORGE ANTONIO GILES FERRER



Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Mestre em Engenharia Mecânica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. Engenheiro Mecânico pela Pontificia Universidad Católica del Perú. Possui Licenciatura plena em pedagogia para educação profissional em ensino médio, pela Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP. Atualmente é docente da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica em São Caetano do Sul SP, onde ministra disciplinas no Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica e na pós-graduação na área de Gestão de Projetos e Produção (Lean Manufacturing e Virtualização de Sistemas Produtivos). É membro do Banco de Avaliadores do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior do Ministério de Educação do Brasil - MEC e Avaliador do Projeto de Formação Profissional Dual em Mecatrônica da Câmara de Comércio e Indústria Brasil-Alemanha. CV: <http://lattes.cnpq.br/2875141797403961>.

### iv MURILO TORRES DE OLIVEIRA



Mestrando em Engenharia Mecânica pelo IFSP - Instituto Federal de São Paulo, Pós-graduado em Engenharia de Controle e Automação pela UNIDERP (2020), bacharelado em Engenharia de Controle e Automação pela Universidade do Grande ABC - UNIABC (2012), Eletricista de Manutenção pela Escola SENAI A. Jacob Lafer (2003). Atualmente é Instrutor de Formação Profissional III da Escola SENAI Armando de Arruda Pereira no curso técnico de mecatrônica, em São Caetano do Sul. Possui experiência nas áreas de Automação, Mecatrônica e Robótica, sempre atuando em aplicações industriais. CV: <http://lattes.cnpq.br/4223670433414827>.