


## SENSORIAMENTO PARA AUTOMATIZAÇÃO EM PROCESSO INDUSTRIAL DE TRATAMENTO TÉRMICO

### SENSING FOR AUTOMATION IN THE INDUSTRIAL PROCESS OF HEAT TREATMENT

Anderson Hanauer\*  E-mail: [ahanauer1@ucs.br](mailto:ahanauer1@ucs.br) **sem orcid**

Ivandro Cecconello\*  E-mail: [iceccone@ucs.br](mailto:iceccone@ucs.br)

\*Universidade de Caxias do Sul (UCS), Caxias do Sul, RS, Brasil.

**Resumo:** Ao produzir ferramentas de uso manual, o fator chave é o controle dos indicadores de qualidade, especialmente o processo de tratamento térmico, que concede dureza e durabilidade para a ferramenta. O processo de tratamento térmico eficiente precisa manter o calor da peça estável, em produções contínuas é necessário ter repetibilidade e constância, para tanto é necessário minimizar variáveis. As operações manuais com uso de mão de obra humana, expõe fragilidade ao processo, encarregando operadores de decidir através da visualização da cor da temperatura da peça, a liberação para produzir, impondo processos de repetição exaustivos. Assim, este trabalho tem o objetivo de demonstrar a aplicação de sensoriamento no processo de tratamento térmico. Para tanto, foi aplicado o método do estudo de caso, tendo como objeto de estudo uma linha de fabricação de cavadeiras. Através do sensoriamento é possível identificar a temperatura do produto e determinar se o processo está dentro das especificações técnicas, criando alertas e correções automatizadas. O sensoriamento permite integração total das operações e viabiliza o uso de robôs nas operações repetidas e exaustivas ao ser humano. Com uso dos sensores é possível identificar perdas superiores a 20% de qualidade, onde o produto não recebeu o tratamento térmico adequado, além de perdas de produtividade e exposição inadequada dos operadores a repetição, calor e tomada de decisão. O sensoriamento e o uso de câmeras de visão, somados a tecnologias da indústria 4.0 potencializam decisões inteligentes.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0. Fábrica Inteligente. IoT. Sensoriamento Infravermelho. Câmeras de Visão. Parâmetros de Processo de Forjamento.

**Abstract:** When producing tools for hand use, the key factor is the control of quality indicators, especially the heat treatment process, which gives hardness and durability to the tool. The efficient heat treatment process needs to keep the heat of the part stable, in continuous productions it is necessary to have repeatability and constancy, for that it is necessary to minimize variables. Manual operations with the use of human labor expose the fragility of the process, instructing operators to decide, by visualizing the color and temperature of the part, the release to produce, imposing exhaustive repetition processes. Thus, this work aims to demonstrate the application of sensing in the heat treatment process. For that, the case study method was applied, having as object of study a line of manufacture of diggers. Through sensing it is possible to identify the temperature of the product and determine if the process is within the technical specifications, creating alerts and automated corrections. Sensing allows full integration of operations and enables the use of robots in repeated and exhausting operations for humans. With the use of sensors, it is possible to identify quality losses of more than 20%, where the product did not receive the appropriate heat treatment, in addition to productivity losses and inadequate exposure of operators to repetition, heat and decision making. The sensing and the use of vision cameras, added to industry 4.0 technologies, enhance intelligent decisions.

**Keywords:** Industry 4.0. Intelligent Factory. IoT. Infrared Sensing. Vision Cameras. Forging Process Parameters.

## 1 INTRODUÇÃO

As empresas de manufatura contemporâneas precisam buscar a cada dia a excelência em seus processos de gestão e de produção para garantir a qualidade, menores custos e maiores resultados. A quarta revolução industrial conhecida como indústria 4.0, baseada na revolução tecnológica, promete transformar e beneficiar a indústria de manufatura. O tema é relativamente novo e bem aceito no mundo acadêmico e na sociedade industrial (Giuggioli *et.al.*, 2022). A academia está focada em entender e definir metodologias para uso nos negócios, e a indústria atenta às mudanças das novas tecnologias e equipamentos, produtos e novos clientes, no incansável desenvolvimento industrial (Oztemelet *al.*, 2020).

A indústria 4.0 é uma renovação da fabricação na indústria, e suas tecnologias objetivam obter o máximo de produção com o mínimo de utilização de recursos, que resulta em fábricas inteligentes, altamente eficientes, que se moldam rapidamente a novas metas e cenários de mercado (Kambleet *al.*, 2018). A indústria 4.0 tem força disruptiva e está baseada em novas tecnologias, com potencial evolutivo para criar sistemas inteligentes, que permitem criar processos autônomos e totalmente digitalizados (Giuggioli *et.al.*, 2022). Sistemas especialistas e técnicas de *Internet* das coisas (IoT), através de sensoriamento, já são usadas amplamente nos sistemas de manufatura, apoiados no *big data* industrial com capacidade de processar, transmitir e gerar conhecimento, criando um modo de fabricação inteligente, combinando técnicas de produção com tecnologia dos computadores, redes, automação e principalmente design digital em sistemas de informações da produção (Fengqueet *al.*, 2017).

Os avanços digitais são capazes de criar uma perfeita comunicação entre máquinas, efetivando a colaboração autônoma e tornando os processos mais rápidos nas respostas e conseqüentemente mais eficientes (Muhuri *et al.*, 2019). Através do sensoriamento, efetiva-se a coleta de dados na máquina, os sistemas computadorizados processam e tomam decisões, utilizando a computação em nuvem, com um banco de dados na internet (Fengqueet *al.*, 2017). Ademais, o sistema IoT composto por dispositivos sensoriais, com identificação única no sistema

computacional e conectados a rede, gera interação máquina a máquina sem interferência humana (Kambleet *al.*, 2018).

Os ambientes fabris são agressivos para muitas tecnologias, a exposição a poeira, resíduos, temperatura, vibração, umidade, entre outros, exigem inovação e segurança dos novos equipamentos (Villalba-Diezet *al.*, 2019). Ainda pouco utilizados na indústria, os sensores infravermelhos de temperatura são uma alternativa para os sensores tradicionais (Keranenet *al.*, 2010). Os avanços no sensoriamento permitem inserir novas tecnologias, entre elas as câmeras de visão termográfica para processos industriais, possibilitando a automação de operações (Szurgaczet *al.*, 2021).

Inserido neste contexto, esse artigo tem como objetivo explorar a implantação do sensoriamento em equipamentos gargalos em uma linha contínua de produção, servindo como base para automatizar o processo, aumentando a qualidade do produto, garantindo qualidade para o cliente e reduzindo os riscos de operação para o operador.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Esta seção apresenta o referencial teórico da análise e estudo exploratório sobre o tema tratado.

### **2.1 Indústria 4.0**

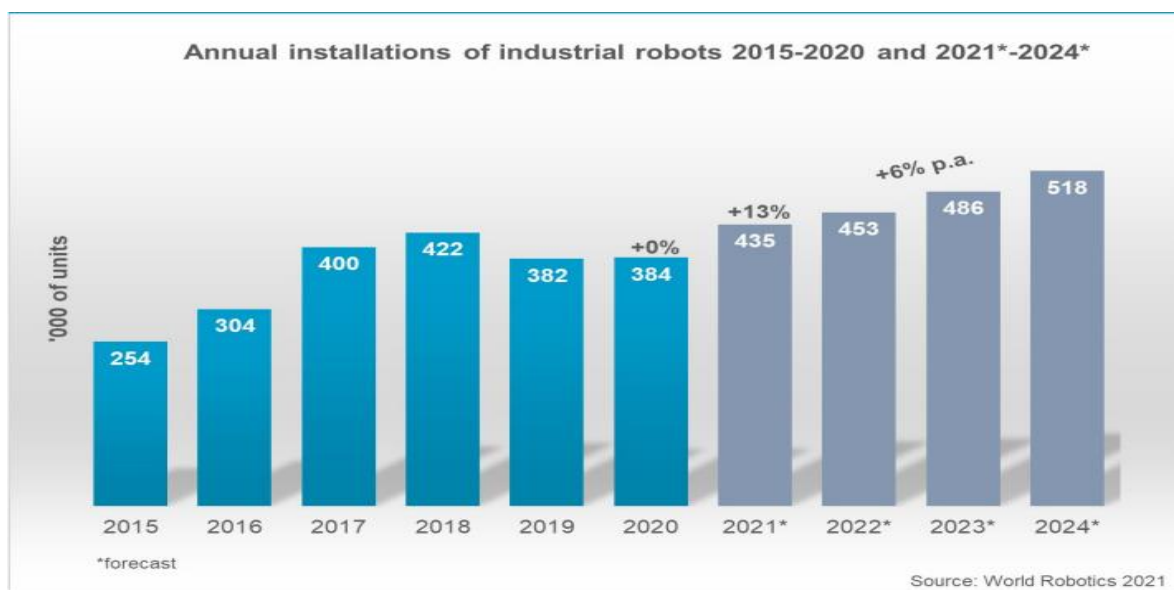
As maiores nações do mundo estão em uma corrida acelerada pela transformação digital, organizando políticas de desenvolvimento nacionais, imersas nos conceitos da indústria 4.0. Na caminhada para mais uma revolução industrial, o mundo da indústria passa por uma transformação da manufatura desmentida, alavancada pela inovação tecnológica, pela mudança de comportamento do cliente e pela turbulência dos mercados globais, demandando uma velocidade cada vez maior da inovação (Oztemelet *al.*, 2020).

A indústria 4.0, tem seu berço na Alemanha, baseada em uma perspectiva integralmente nova, o projeto alemão fundiu a manufatura com a tecnologia, visionou fábricas inteligentes, extremamente eficientes no uso de recursos e celeremente

adaptáveis a novas exigências do mercado (Kambleet *al.*, 2018). Mesmo que em alguns países e empresas, a terceira revolução industrial baseada na inclusão de computadores na manufatura esteja começando, a indústria 4.0 avança aceleradamente com tecnologias, métodos e automações totalmente inteligentes e digitalizados (Giuggioliet *al.*, 2022).

A força da Indústria 4.0 pode ser evidenciada pelos investimentos das grandes nações. A Alemanha iniciou o processo em 2011, buscando maior protagonismo e eficiência. Em seguida os americanos apresentaram a *Smart Manufacturing Leadership Coalition* (Usugaet *al.*, 2020). Em 2015 a China através da comissão nacional de desenvolvimento criou o “*Made in China 2025*”, destinando estratégias e recursos para criar fábricas inteligentes (Fengqueet *al.*, 2017). A União Europeia definiu um investimento de 7 bilhões de euros até 2020 (Usugaet *al.*, 2020). Os Japoneses com a “*Sociedade 5.0*”, focou na modernização inteligente, bem-estar do ser humano, utilizando automação somado a estratégias de manufatura Lean (Villalba-Diezet *al.*, 2019). O Fórum Econômico Mundial estima em seu relatório um uso de 2,4 milhões de robôs a partir de 2018, espera-se que até 2025 seja utilizado 1 trilhão de sensores, 6 bilhões de dispositivos conectados, em 2020 os gastos globais em Big Data foram estimados em 200 bilhões de dólares, 59% das fábricas EUA usará tecnologia robótica (Oztemelet *al.*, 2020).

**Figura 1** – Uso de robô na Indústria do mundo



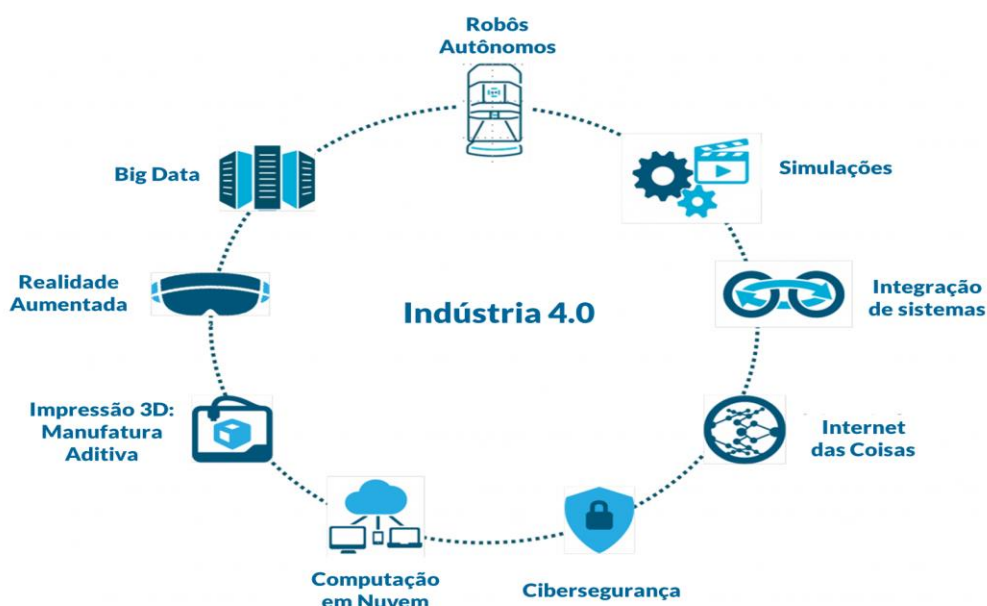
**Fonte:** International Federation of Robotics IFR, 2021.

A figura 1 demonstra o avanço do uso de robôs, um símbolo da modernização da indústria no mundo e que avança de forma consistente e sinaliza uma escalada evolutiva.

O paradigma da indústria 4.0 se refere a mudanças na manufatura, onde máquinas instrumentalizam rotinas para o modo digitalizado, estabelecendo comunicação entre elas com automonitoramento e colaboração autônoma (Oztemel *et al.*, 2020). O crescimento industrial apoiado na produtividade fabril se dará por processos mais rápidos, flexíveis e eficientes, gerando bens de qualidade em nível avançado de customização (Giuggioliet *al.*, 2022). A complexidade no desenvolvimento de produtos oriunda da heterogeneia demanda dos clientes, cria abordagens para digitalizar a criação e cada vez mais funções em sistemas para assegurar requisitos de qualidade, confiabilidade e custos, em ciclos de vida do produto mais curtos (Mandele *et al.*, 2020).

A figura 2 apresenta os pilares da indústria 4.0, e demonstra as principais tecnologias utilizadas para a transformação das fábricas inteligentes. Os destaques são: robôs autônomos, simulações, integração de sistemas, Internet das Coisas, cibersegurança, computação em nuvem, impressão 3D, manufatura aditiva, realidade aumentada e big data (Lee *et al.*, 2018).

**Figura 2** – Pilares da indústria 4.0



**Fonte:** Adaptado de SSMAQ, 2018.

As novas tecnologias criam sistemas autoconscientes capazes de auto-avaliar-se, criando vantagens pela capacidade de fazer diagnósticos do seu próprio desempenho, avaliar seus níveis de desgaste e assim criando inteligência em nível local (Usugaet *al.*, 2020). Existe um grande potencial para a indústria aumentar a capacidade de seus equipamentos através do uso de sensores capazes de ler necessidades específicas e criar inteligência através dos dados gerados e possibilitando dar respostas flexíveis e adequadas (Villalda-Diezet *al.*, 2019)

Os sistemas autoconscientes, dotados de algoritmo baseado em dados e informações, extraídos de máquinas, permitem em tempo real realimentar um controlador e criar informações (Leeet *al.*, 2018). Os sistemas organizados com sensores permitem controlar a qualidade do produto retirando a atuação humana limitada pela ergonomia e fadiga das tarefas repetitivas e exaustivas, tornando o uso de detecção automática de defeitos visuais ou sensoriais como uma solução (Usugaet *al.*, 2020).

## **2.2 Internet das Coisas - IoT**

Com a criação da internet e a indispensabilidade no cotidiano das pessoas, em todas as esferas da vida, o próximo passo será a internet das coisas, IoT (Gokhale *et.al.*, 2018). A IoT conecta através da rede de equipamentos os dados e os transmite, desempenhando um papel fundamental na indústria, criando tecnologias seguras, escaláveis e de fácil adoção, são a força para a indústria inteligente (Latifet *al.*, 2021).

A IoT muda drasticamente diversos processos industriais, fornecendo instalações e introduzindo novos sistemas e modelos de negócios (Latifet *al.*, 2021). A internet das coisas tem grande aceitação devido a conectividade econômica e gerenciamento eficiente de um grande número de dispositivos diversificados (Hejaziet *al.*, 2018). O Futuro da internet será ampliado devido à diversidade de dispositivos conectados e que aumentarão as fronteiras do mundo com entidades físicas e componentes virtuais (Wanget *al.*, 2015).

O benefício da IoT é a capacidade de processar e transformar grandes volumes de dados para criar resultados úteis, interligando as linguagens de software (Giuggioliet *al.*, 2022). A IoT geralmente têm arquiteturas centralizadas, onde

servidores baseados em nuvem fornecem dados que facilitam a análise e processamento de informações (Latif *et.al.*, 2021). A IoT pode ser descrita como objetos equipados com sensores digitais que são capazes de se comunicar via internet (Wanget *al.*, 2015).

A chegada da rede sem fio do 5G é especialmente adequada para IoT, sua capacidade de integração de tecnologias para diversos dispositivos, o amplo acesso via redes *low power wide* aumenta o poder de cobertura por área (Hejaziet *al.*, 2018).

Existe uma grande expectativa com uso da IoT em setores como saúde, agricultura, automação de cidades e residências/escritórios, na indústria e outros. A abrangência dos ecossistemas de inter-redes tem enorme potencial de crescimento como a promessa de melhorar a qualidade de vida das pessoas (Gokhale *et.al.*, 2018). As indústrias modernas se beneficiam da IoT nos serviços de conectividade de alta velocidade, computação em nuvem, big data, análise e desenvolvimento de aplicativos, aprimorando os processos industriais, otimizando a produção e processos, melhorando serviços ao cliente e reduzindo custos de fabricação com inovação (Latifet *al.*, 2021)

A IoT permite que pessoas e coisas sejam conectadas a qualquer momento ou lugar, com qualquer coisa, preferencialmente por redes de serviço (Wanget *al.*, 2015). Uma das evoluções mais percebidas são as técnicas de aprendizado de máquinas, *machine learn*, que define as decisões inteligentes nos dados da rede (Hejaziet *al.*, 2018).

### **2.3 Sensoriamento**

O avanço da Inteligência dos sensores em soluções nas diversas aplicações, especialmente na indústria, criou-se uma base para controles seguros e eficientes dos processos. O desenvolvimento intensificado de sensores de rede, os sistemas de computação em nuvem e as máquinas orientadas por dados dos modelos de monitoramento, extraindo conhecimento útil para possíveis tomadas de decisão, têm tornado cada vez mais atraente esse tipo de solução (Zhaoet *al.*, 2019).

As redes de sensores industriais são utilizadas no monitoramento de equipamentos, com objetivo de otimizar o processo de produção, provendo informações sobre seu funcionamento (Gomeset *al.*, 2014). O sensoriamento é um

termo utilizado para denominar dispositivos capazes de gerar ações através de energia que pode ser luminosa, térmica, cinética, que geram informações mensuráveis sobre temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição e outras (Wendling *et al.*, 2010).

Com o avanço maciço dos processos automatizados é necessário realimentar o processo através de instrumentos que controlam diversas grandezas físicas e medem as mais variadas exigências, criando informações que devem estar sempre disponíveis para gerar controle e trabalhar conforme pré estabelecido, essas informações são coletadas por diversos sensores (Thomazini *et al.*, 2020). Os sistemas de sensores modernos quase sempre incluem recursos de aquisição de dados (Hughes *et al.*, 2000).

Com o avanço da tecnologia da microeletrônica e optoeletrônica, existe significativo avanço nos sensores. É esperado dos sensores capacidade de funcionar em ambientes hostis e que sejam imunes a interferências (Hughes *et al.*, 2000). A industrial internet das coisas (IoT) através dos dados gerados pelos sensores, permite que a rede de computadores processe um grande volume de dados que as máquinas geram e transformem em informações acionáveis (Zhao *et al.*, 2019).

**Figura 3 – Modelos de sensores**



Fonte: <https://www.sick.com/br>.

Sensores são dispositivos eletrônicos analógicos ou digitais que transformam uma grandeza física em um sinal elétrico. Dentre essas grandezas podemos destacar: luz, calor, som, pressão, umidade, luminosidade e temperatura. São utilizados em diversos ambientes, industrial, comercial, residencial, entretenimento. Eles podem ser classificados conforme a grandeza medida, o tipo de saída e ainda apresentam características que influenciam sua aplicação como a amplitude e a precisão (Wendling *et al.*, 2010).



Existem no mercado vários modelos de sensores; mecânicos, indutivos, óticos, magnéticos, RFID, capacitivos e outros. Atualmente vem se destacando os modelos de sensores de radiação infravermelhos, devido a segurança que oferecem ao operador, possuem uma capacidade de alcance maior, permitindo ser montados a uma distância da zona de medição, criando vantagens como operar em lugares com alta temperatura, em ambientes contaminados, conseguem medir objetos em movimento ou mesmo em locais com vibração (Sousa *et al.*, 2017).

Mais recentemente surgiram os sensores infravermelhos digitais de temperatura, com dois apontadores em laser capazes de detectar claramente a temperatura em uma área de peça entre 0 e 1350 C° e gerar uma resposta em 15ms (Keyence, 2022).

## **2.4 Câmeras de visão**

O avanço das tecnologias acelerou a concepção do uso industrial das câmeras de visão. Os variados modelos de câmeras indústrias usam múltiplas interfaces aplicativos, oferecendo inúmeras soluções de uso, deste simplesmente mostrar uma imagem ao vivo ou mesmo analisar a mesma com um software em tempo real.

Uma das questões essenciais na área da visão computacional mora no processo de aquisição da imagem. Este problema tem sua solução sendo criada a muitos anos, com forte pesquisa acadêmica e técnica (Lobão *et al.*, 2003). As câmeras de visão originalmente foram desenvolvidas para uso de vigilância militar noturna, mais tarde foram maciçamente usadas para vigilância em segurança, criando demanda e queda no custo e abrindo um amplo campo de uso (Gade *et al.*, 2014).

O surgimento dos sistemas digitais com visão computacional baseia-se na fotogrametria, caracterizada pela baixa resolução (inferior a 600x400 pixels), dificuldades para manter alinhamento criando distorções (Lobão *et al.*, 2003). O avanço técnico recente na fotogrametria digital permite uma visão automatizada no monitoramento de deformações criando possibilidades industriais e de controle e geração de dados (Fraser *et al.*, 2020).

As novas tecnologias usam algoritmos de processamento de imagem que geram estimativas estatísticas de confiança e garantem uma operação consistente

em condições extremas (O’leary; Paul. 2005). O trabalho de medição em ambientes industriais tornou-se uma operação muito difícil devido às altas temperaturas envolvidas (Fraser *et al.*, 2020). A nova geração de câmeras térmicas captam a radiação infravermelha emitida por todos os objetos com temperatura acima do zero absoluto (Gade *et al.*, 2014).

**Figura 4** – Modelos de câmeras



Fonte: <https://www.sick.com/br.>

As câmeras visuais detectam luz visível em cinza ou dependem de energia artificial ou sol (Gade *et al.*, 2014). A filtragem infravermelha estabelece um sistema de medição de partes quentes e combinadas com tecnologias de filtragem digital e física, gerando métodos de comparação de tamanho bidimensional, calibrando o tamanho em pixels com precisão e obtendo a distância correta (Bi, Chao *et al.*, 2014). Com um detector é capturada a radiação infravermelha térmica, temperatura que é emitida por todos os objetos acima do zero grau, conhecida como radiação térmica (Gade *et al.*, 2014). O uso do sensoriamento pode evitar algumas falhas na geração das imagens, contudo os sensores passivos que utilizam a radiação dos próprios objetos são mais eficazes, pois captam a intensidade do calor emitido e não dependem de energia externa (Gade *et al.*, 2014).

Para um bom desempenho das câmeras térmicas em ambiente industrial é preciso ter robustez nas imagens, bom sistema de transmissão de imagens, algoritmo bem desenvolvido, acesso a entrada e saída de sinais, integração de resultados e um bom software para tomada de decisão (O’leary; Paul, 2005). Para suportar o grande volume de dados gerados é necessário um sistema de processamento *on-line* automatizado e com equipamentos capazes de suportar o ambiente industrial onde existem altas temperaturas (Fraser *et al.*, 2020). Mesmo em condições adversas, as

medições devem ser confiáveis e para tanto as câmeras devem medir o processo em tempo real, gerar e enviar sinais/dados adequados para evitar falhas (O’leary, Paul, 2005).

A fotogrametria através da estratégia de orientação e triangulação gera alto nível de automação (Frazer *et al.*, 2020). Com avanço dos sistemas de visão chegando é possível adquirir e processar quadros de imagem em tempo real e gerar controle e feedback instantâneo através do processamento digital de imagens (O’leary; Paul. 2005).

Atualmente as empresas de desenvolvimento de sistemas de visão com câmeras de inspeção, tem oferecido alternativas capazes de integrar operações inclusive com robôs com visão integrada, possibilitando inspecionar defeitos, definir posição da peça, posicionar peças e interagir com sensoriamento para tomar decisões para assegurar parâmetros estabelecidos, tudo com muita velocidade de processamento.

## **2.5 Tratamento térmico**

O tratamento térmico de aço é uma prática utilizada ao longo da história. Segundo Do Vale (2011), o tratamento de aços existe a milhares de anos e ganhou maior importância nas guerras, sendo um diferencial competitivo.

O objetivo do tratamento térmico é aumentar a vida útil da peça, melhorar as propriedades mecânicas e adicionar maior proteção contra oxidação. As melhorias na propriedades dos metais pode ser em toda peça ou em pontos específicos, é uma ação de reorganizar a estrutura dos átomos do metal, através do aquecimento e resfriamento da peça de forma controlada, contudo exigem controles de processo como temperatura, tempo de aquecimento e resfriamento, velocidade, atmosfera e material (Chiaverini, 1977). Tecnicamente o tratamento térmico consiste na transformação do aço carbono que em sua constituição assume a fase austenítica e ao ser exposto a determinada temperatura assume diferentes formas geométricas dos seus cristais moleculares, dentre a mais comuns a ferrita e a austenita (SENAI-SP, 2018).

O processo térmico do aço não depende apenas das explicações físicas do processo, também são influenciadas pelo controle e fornecimento de calor e resfriamento, qualidade da liga e influência humana em processos não automatizados (Do Vale, 2011).

Na concepção do aço, através da fundição, os metais formam muitas tensões, podendo criar pontos de fragilidade, deformações e ainda falhas dimensionais no processo de tratamento térmico (Chiaverini, 1977).

Na indústria são inúmeros os ramos e produtos que usam o tratamento térmico, para garantir segurança e qualidade aos clientes. Deste o setor automotivo, linha higiene pessoal a instrumentos cirúrgicos, peças de navio, avião, trator, facas, moldes e matrizes industriais, ferramentas manuais, etc. (Do Vale, 2011).

Existem vários tipos de tratamento térmicos, os mais comuns são o recozimento, normalização, austêmpera, martêmpera, têmpera, revenido, cementação, carbonitreção, nitreção (SENAI-SP, 2018). A têmpera é uma dos processos mais utilizados na indústria de ferramentas, e consiste em aquecer a peça em uma temperatura previamente determinada para em seguida ser esfriado rapidamente, usualmente com água ou óleo (Do Vale, 2011).

### **3 MÉTODO**

Nesta seção descrevemos o objetivo do projeto piloto, a metodologia de pesquisa, as etapas do projeto e os dados que serão analisados. Abordar essas etapas é fundamental para orientar o estudo e garantir a eficácia do projeto (Schlemmer, 2018).

O método de pesquisa será de abordagem qualitativa, de natureza aplicada, com objetivo explicativo, utilizando procedimentos de estudo de caso. O método de pesquisa como estudo de caso está relacionado com abordagens qualitativas e reiteradamente utilizado em estudos organizacionais (Fachin, 2001). Para desenvolver um estudo de caso é importante o evento a ser investigado ter aprofundamento, gerando uma natureza de experiência isenta e sem generalização (Charmaz *et al.*, 2000).

O método de estudo de caso no tempo é amplo, permitindo explorar o contemporâneo e o passado, tudo em prol da compreensão dos fatos (Cezaret *al.*, 2005). O estudo de caso envolve uma decisão ou problema, sob ponto de vista do autor, e permite aos demais leitores acompanhar a análise do processo e a tomada de decisão (Cezaret *al.*, 2005).

O projeto piloto consiste em aplicar os conceitos de IoT com sensoriamento e sistemas de visão em uma linha contínua de produção. A empresa já utiliza sistemas de sensoriamento, em especial nas suas diversas automações de processos, contudo ainda não utiliza sensoriamento infravermelho e câmeras de visão térmicas, portanto o projeto será inovador na organização. A metodologia de pesquisa utilizada neste artigo será de uma pesquisa aplicada, com método de pesquisa qualitativo, utilizando procedimentos de estudo de caso.

**Figura 5** - Operação de marcar/estampar e temperar peça - foco do estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.4 Etapas do projeto

- Avaliação dos pontos críticos no processo de produção do produto;
- Implantação do sensor infravermelho para controle da temperatura da peça;
- Implantação do sensor de controle da temperatura da água;

- Coleta de dados dos sensores;
- Análise dos dados gerados pelos sensores;
- Análise viabilidade de instalação da câmera de visão térmica com robô;
- Análise e conclusão dos ganhos com o sensoriamento.

## **4 ESTUDO DE CASO**

Nesta seção é apresentado o estudo de caso em uma empresa no ramo metalúrgico com objetivo de implementar o sensoriamento e integração de sistemas e implantação de câmeras de visão para controle de processo.

### **4.1 Apresentação da organização**

A aplicação do estudo e análise foi realizada na empresa Tramontina Multi, unidade pertencente ao grupo Tramontina, localizada na cidade de Carlos Barbosa-RS com mais de 110 anos de História. A unidade da Tramontina Multi tem mais de 40 anos de atividades, produz produtos para agricultura, jardinagem e construção civil, possui mais de 800 produtos vendáveis e mais de 1.200 funcionários. A Tramontina Multi ao longo dos anos tem crescido por acreditar em seus produtos, apostar em pessoas e na tecnologia, e por isso possui equipe capaz de desenvolver projetos complexos e com engenharia inovadora, criando soluções internas exclusivas, sendo isso um diferencial competitivo. Atualmente a empresa possui um bom nível de automação industrial em seus processos produtivos, todos direcionados para segurança dos operadores, ergonomia, modernização dos processos, trazendo melhorias e tecnologias aos seus produtos a fim de entregar ao cliente cada vez mais qualidade e menor preço.

### **4.2 Descrição ambiente estudado**

A empresa possui 39 famílias de produtos, dentre elas está a linha de cavadeiras articuladas, composta por 8 modelos diferentes, responsável por 7,41% do faturamento em 2022, sendo que é a 6ª família em importância por valor faturado. As Cavadeiras articuladas são fabricadas utilizando-se aço especial, com espessura entre 1,0 e 2,0 mm. A Cavadeira é utilizada para fazer aberturas de buracos para

colocação de postes ou aberturas de trincheiras para canos, sendo que realizam a operação de cavar e retirar a terra numa única operação.

**Figura 6** - Modelos produzidos na linha

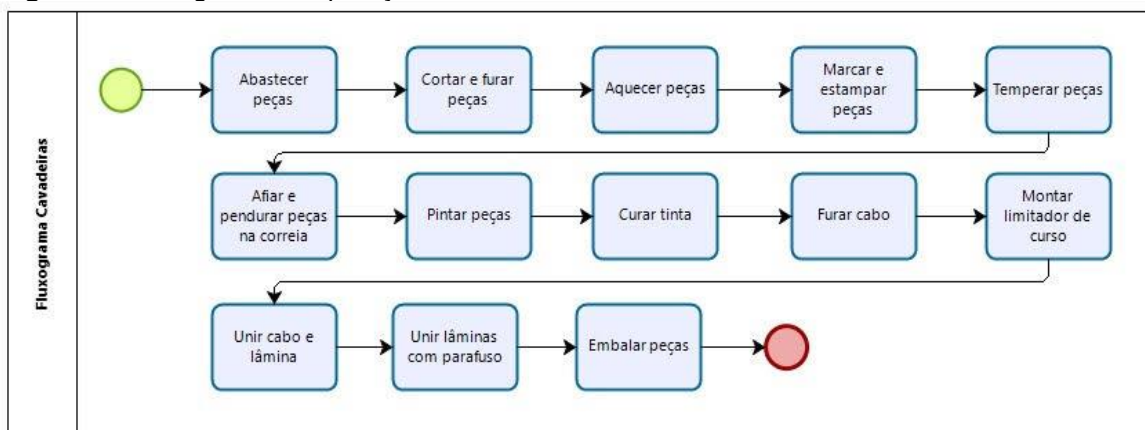


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A sistemática de trabalho é de linha contínua de produção, sistema de produção empurrado. A linha contínua de produção possibilita a fabricação de produtos em grandes quantidades, a custo baixo, se valendo da reprodutibilidade de operações, em detrimento da sua variabilidade (Moellmannet *al.*, 2006).

A linha de produção tem o fluxograma definido em 13 operações, sendo 6 operações máquinas e 7 operações homem. Atualmente a linha trabalha 24 horas por dia com 22h de produção diária, parando apenas para almoço e jantar. A linha tem o padrão de produção definido pelo gargalo da linha, que atualmente é a operação de marcar/estampar e temperar cavadeiras. O gargalo de produção é definido por determinado equipamento ou operação com menor capacidade produtiva ao longo do fluxograma da linha de produção, e restringe o aumento produtivo de toda linha (Moellmannet *al.*, 2006).

**Figura 7** - Fluxograma de operação da linha de cavadeiras articuladas



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A linha de produção das cavadeiras articuladas possui controles de operações críticas para assegurar a qualidade do produto. As inspeções são determinadas pela área técnica da empresa (engenharia), e descritos em seus documentos internos denominados de Instrução Operacional (IOs), em conformidade com normas da ISO 90001.

As inspeções são fundamentais para garantir a qualidade do produto, gerar informações através de indicadores para apoiar as tomadas de decisão, aumentar a assertividade das decisões e fazem parte da estratégia do negócio para garantir eficiência e competitividade. A linha de Cavadeiras Articuladas possui 3 pontos de inspeção de qualidade.

#### **4.2.1 Processo crítico - Têmpera da cavadeira**

A operação têmpera da cavadeira possui variáveis importantes para sua execução eficiente. A cavadeira é carregada por um sistema robotizado na esteira do forno de aquecimento, por onde a peça percorre por tempo determinado pelo controlador de velocidade marca WEG modelo IHM-RS CFW-08. A temperatura é previamente definida para realizar o processo de tratamento térmico, conforme definido e descrito na instrução operacional (IO).

Para o processo ser executado de forma satisfatória, os parâmetros do forno de aquecimento e a temperatura da água precisam estar ajustados e devem variar o mínimo possível. No processo também existe a operação manual do operador, que



precisa pegar a peça na saída do forno, posicionar na matriz do estampo, acionar a prensa e retirar a peça colocando-a dentro do tanque de água com temperatura controlada. Toda operação deve ocorrer de forma sincronizada para que a peça não perca temperatura, diminua seu tratamento térmico e reduza sua dureza.

A correta temperatura da água para tratamento térmico impacta diretamente na velocidade do resfriamento e portanto é fator de variação da dureza gerada na peça (Minella. 2009). Para o desempenho da operação de têmpera ser assertiva, o processo deve assegurar que a peça receba o choque térmico com a menor variação de temperatura possível, sendo a repetição o ideal (SENAI-SP, 2018).

**Tabela 1** - Parâmetros de regulação para cada modelo

INSTRUÇÃO OPERACIONAL					Página- 1 de 1 Revisão - 16 Data - 12.05.2022
Especificação do processo de têmpera					
EPT 001	Aplicação: Peças temperadas na linha de cavadeira articulada				
Aprovação - 13.06.13					
Requalificação - 12.08.2022					
Parâmetros para processo:					
PRODUTO	Temperatura forno (cº)	Regulagem correia transporte (HZ)	Temperatura água	Dureza (HRC)	
Referências leves	895 - 910	14 - 27	5 - 40	44 - 60	
Referências pesadas	855 - 850	17 - 22			

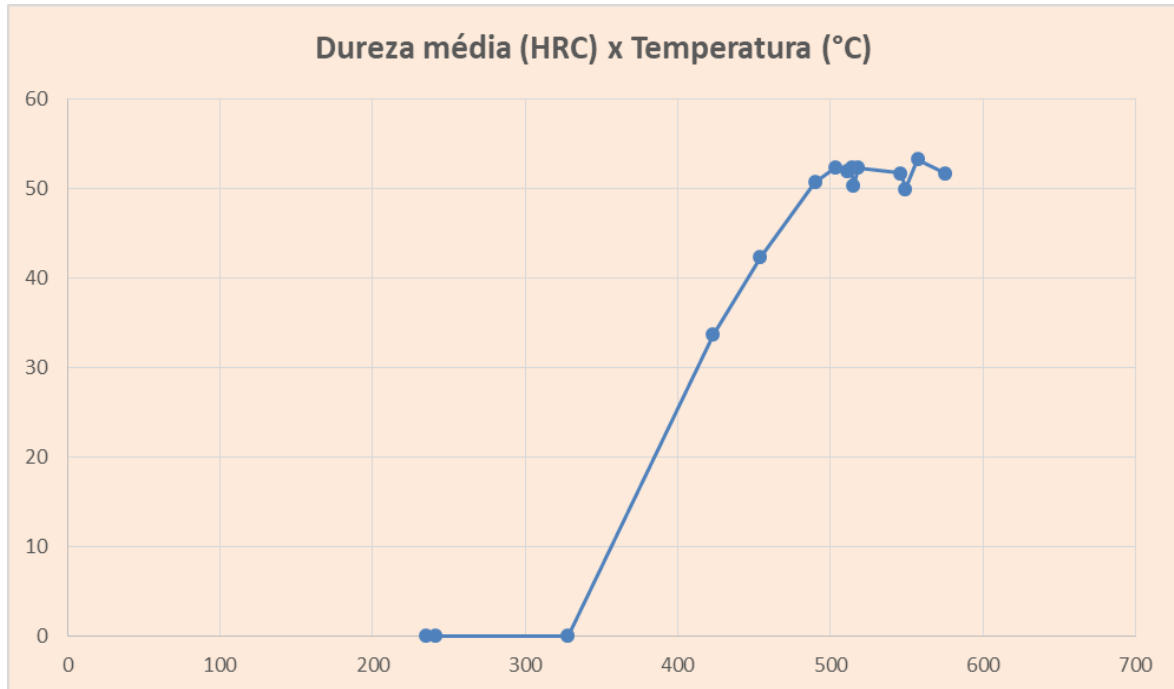
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Através de testes realizados pelo laboratório da empresa, foi possível determinar faixas de temperatura onde os pontos de dureza se mantêm estáveis. O teste mede a temperatura da peça ao estampar e colocar na água com os sensores infravermelhos e usa também um pirômetro digital para assegurar dupla conferência dos valores. Reduzindo gradativamente a temperatura de aquecimento da peça é possível identificar faixas de comportamento. Abaixo como ficam as faixas de temperatura e comportamentos do tratamento térmico.

- **Temperatura da peça >470 Cº** - boa qualidade, atende requisitos, a média da dureza fica entre 44 e 60 HRC;

- **Temperatura da peça >469 a 420 C°** - amplitude dos pontos medidos é significativa e a dureza média dos pontos varia e geralmente fica abaixo dos 44 HRC, mínimo desejado para boa qualidade;
- **Temperatura da peça <420 C°** - não registra dureza na peça e/ou muito baixa para considerar como medição válida.

**Figura 8** - Resultado teste laboratório



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Para assegurar o processo são realizadas 8 inspeções diárias pelo inspetor de qualidade, que recebe treinamento técnico da engenharia para utilizar o durômetro, equipamento que mede a dureza da peça. Segundo Bertoldi (2014) o ensaio de dureza é a aplicação da ponta do durômetro na superfície da peça, onde a pressão exercida mede a resistência e define a dureza da peça. Devido a variabilidade do processo é definido uma escala de dureza que para o produto cavadeira fica entre 44 a 60 HRC, conforme tabela 1.

**Tabela 2** - Inspeções de qualidade definidas na instrução operacional

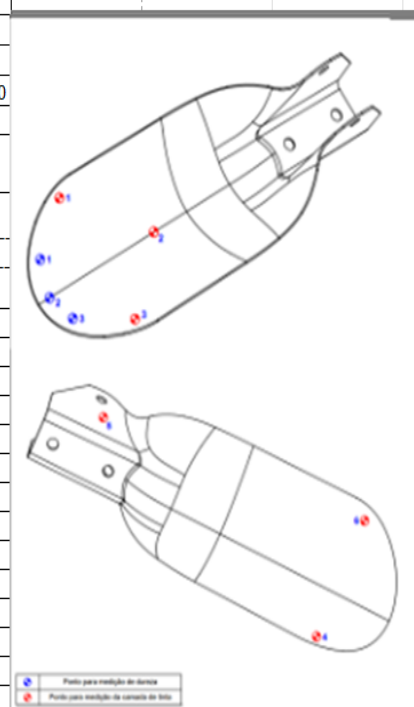
INSPEÇÕES DE QUALIDADE				
INSPEÇÕES	TURNO DIURNO		TURNO NOTURNO	
	Manhã	Tarde	Vespertino	Madrugada
Dureza peça	2 vez	2 vez	2 vez	2 vez
Pintura	2 vez	2 vez	2 vez	2 vez
Visual	Todas peças	Todas peças	Todas peças	Todas peças

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando as inspeções identificam dureza média menor que 44 HRC, o lote de produção deve ser segregado, ajustando os parâmetros dos equipamentos para retornar a produzir. Se os pontos de medição ficarem abaixo e/ou a média das medições não atingirem a dureza mínima de 44 HRC, a produção pode ser liberada pelo supervisor do setor, assinando a carta de controle.

**Tabela 3** - Inspeções realizadas e pontos medidos

CARTA DE CONTROLE PARA MEDIÇÃO DA DUREZA							
Data:	05/set	12/set	12/set	14/set	26/set	27/set	05/out
Hora:	13:50	08:15	13:20	15:05	08:15	16:20	11:15
Referência	77559524	77568948	77568948	77568948	77559524	77559524	77570950
O.F.	68865	68300	68300	68300	68865	70567	68334
Peso conforme desenho (g)	-	-	-	-	-	-	-
Temp. queimadores forno (c°)	1----- 905 2----- --- 3-----	1----- 904 2----- --- 3-----	1----- 839 2----- --- 3-----	1----- 905 2----- --- 3-----	1----- 890 2----- --- 3-----	1----- 904 2----- --- 3-----	1----- 907 2----- --- 3-----
Temp. água (c°)	29,8	24,7	30,3	35	25,1	31,3	37
Veloc. correia (hz)	23,5	23	15,5	18	22	22,5	20,5
Leitura 1 / peso (g)	54	25	31	50	53	49	54
Leitura 2	46	15	27	50	55	47	55
Leitura 3	49	30	33	52	55	48	56
Leitura 1 / peso (g)	32	53	52	51	53	52	48
Leitura 2	55	51	40	30	54	51	42
Leitura 3	54	24	44	52	52	51	55
Leitura 1 / peso (g)	54	47	33	43	25	40	53
Leitura 2	54	21	30	39	20	35	51
Leitura 3	53	32	31	42	40	46	56
X	51	33	35	45	45	36	52
R	50,1	38	30	12	35	17	14



Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 3 demonstra o processo de inspeções, a cada inspeção são recolhidas 3 peças e medidos 3 pontos diferentes em cada produto, e as mesmas são registradas no sistema software da empresa, GQP 045, com data, hora, dados medidos, gerando relatórios, indicadores e mantendo histórico para consulta.

#### **4.2.2 Processo crítico - Pintura a pó da cavadeira**

O processo de pintura da peça tem a finalidade de proteger o aço da oxidação, dando maior durabilidade ao produto e acabamento visual, importante para exposição do produto no ponto de venda. A Cavadeira Articulada é pintada nas cores vermelha e preta, utilizando pantones a pó e uma cabine de pintura com sistema eletrostático. A pintura de metais com o uso do pó em vez da tinta líquida, busca maior produtividade, redução de custos e principalmente traz sustentabilidade ao negócio, adequando-se a processos limpos e alinhados com a responsabilidade com meio ambiente (Ferreira *et al.*, 2019).

#### **4.2.3 Processo visual - Inspeção visual da peça**

O visual do produto para consumidor é muito importante e pode ser um fator decisivo para definição na escolha do produto. A percepção visual do consumidor sobre a aparência do produto pode definir a compra (Baudet *et al.*, 2013).

A inspeção visual do produto é realizada ao longo do processo de produção pelos operadores e com maior ênfase na operação de embalar o produto. No caso da cavadeira são avaliados defeitos como pintura da peça, rebarbas, defeitos no corte, alinhamento e defeitos no cabo. Para Baudet (2013) a inspeção visual na linha de produção visa garantir o padrão de qualidade estipulado e a segurança do produto.

### **4.3 Sensoriamento da linha de produção**



A importância da linha de cavadeiras articuladas para o faturamento, sua complexidade de fabricação, a criticidade da operação de têmpera para qualidade do produto e eficiência da linha, são fatores que sugerem investimentos para possibilitar maior competitividade operacional. Problemas na linha podem causar perdas significativas, afetar entregas e vendas do produto, insatisfação do cliente gerando prejuízos para empresa.

O objetivo do projeto é melhorar o desempenho do processo crítico da têmpera através do sensoriamento e automatizar a operação. Com isso, esperamos gerar dados para processar em nuvem, permitindo obter informações de forma simples e em tempo real, através de softwares, conseguir analisar e prever uma ação futura.



Tal recurso é uma demanda da indústria 4.0 em favor das empresas para incorporar novas tecnologias e obter lucros.

A primeira etapa do projeto prevê a instalação de um sensor para permitir coletar dados da temperatura da peça antes de colocá-la na água para tratamento térmico. Após pesquisa de mercado, optou-se pelo modelo da marca Keyence, FT-H50K, especialmente pela capacidade de sensoriar altas temperaturas.

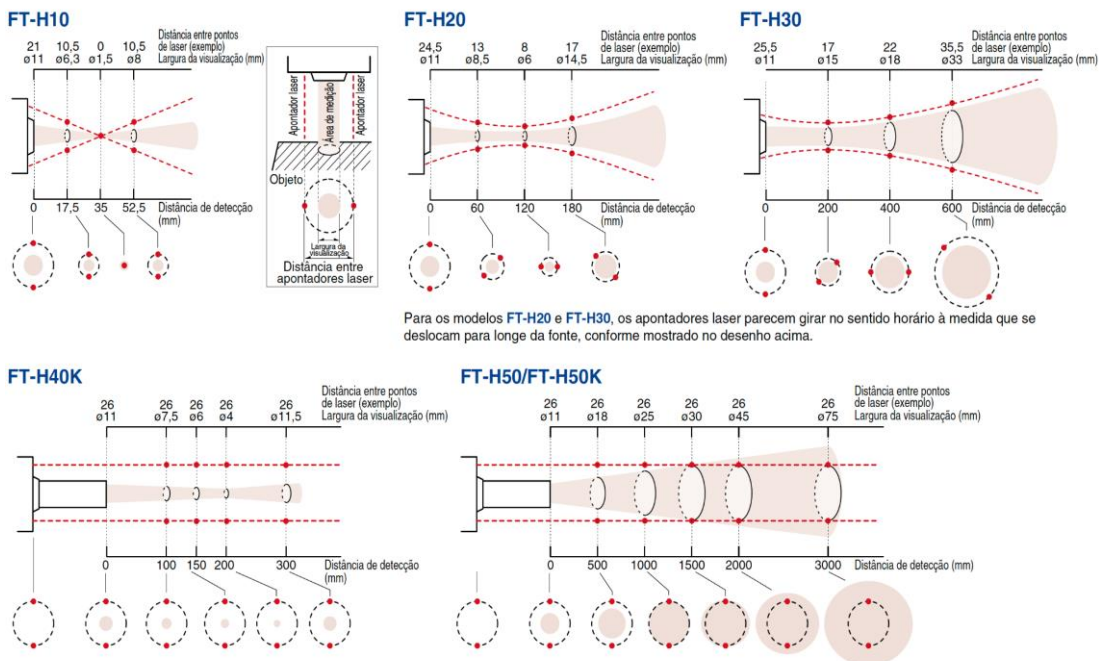
**Tabela 4 - Especificações do sensor FT-H50K**

Linha de Produtos							
Cabeças sensoras							
Modelo	Formato	Tipo	Temperatura detectável	Distância de medição / Diâmetro da vista (exemplo)			
FT-H10		De média a baixa temperatura	0 a 500 °C	Ponto pequeno	17,5/ø6,3 mm	35/ø1,5 mm	52,5/ø8 mm
FT-H20				Alcance médio	60/ø8,5 mm	120/ø6 mm	180/ø14,5 mm
FT-H30				Alcance longo	200/ø15 mm	400/ø18 mm	600/ø33 mm
FT-H50				Alcance ultralongo	500/ø18 mm	1500/ø30 mm	3000/ø75 mm
FT-H40K		Alta temperatura	0 a 1350 °C	Alcance médio	100/ø7,5 mm	150/ø6 mm	300/ø11,5 mm
FT-H50K				Alcance ultralongo	500/ø18 mm	1500/ø30 mm	3000/ø75 mm

Amplificadores			
Modelo	Formato	Tipo	Tipo de saída
FT-50AW		Montagem em trilho DIN	NPN
FT-50AWP			PNP
FT-55AW		Montagem em painel	NPN
FT-55AWP			PNP

**Selecionar pela distância**



Fonte: Elaborado pelo autor com dados da empresa Keyence.

Para realizar o tratamento térmico da cavadeira articulada, um robô posiciona a peça na esteira transportadora do forno de aquecimento, percorre o seu interior em velocidade e temperatura determinados (tabela 1), para cair sobre uma mesa, onde rapidamente o operador deve posicionar a lâmina no estampo de conformação e acionar a prensa. Durante o processo o sensor infravermelho, através dos seus 2 lasers, faz a leitura da temperatura da lâmina.

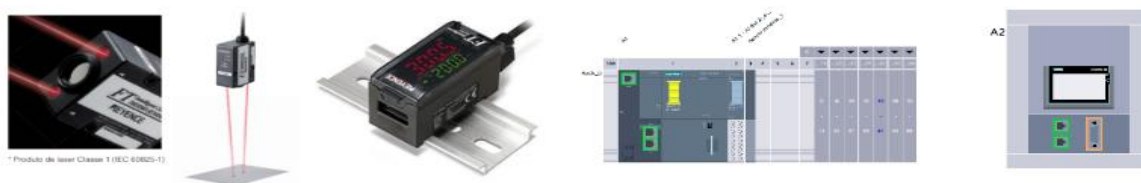
Também instalaremos um sensor marca Thermotec, que fará a leitura da temperatura da água do tanque de têmpera. Objetivo é coletar dados e determinar os possíveis ganhos com uma integração dos sensores para determinar ações automáticas para controle do processo.

#### **4.3.1 Modelamento sensorial de temperatura da peça**

Para coletar as informações foi instalado um sensor apontador modelo FT-H50K, que direciona dois lasers para a peça quente e indica com clareza sua temperatura. O sensor funciona em conjunto com o amplificador modelo FT-50AWP que faz todo o processamento de leitura dos sinais e disponibiliza através de uma saída analógica de 4a20ma a temperatura lida. Ambos, sensor e amplificador são da empresa Keyence.

O CLP utilizado foi da empresa Siemens modelo 1510SP F-1 PN. A saída do amplificador está ligada a uma entrada do CLP, onde é feito todo o tratamento dos dados e lógica necessária para então disponibilizar aos usuários através da IHM as informações mais relevantes da aplicação. Modelo de IHM utilizado TP700 Comfort também da empresa Siemens.

**Figura 9** - Periféricos instalados para gerar dados da temperatura da peça



**Fonte:** Setor de automação da Tramontina Multi (sensor,amplificador, CLP, IHM).

### 4.3.2 Modelamento sensorial de temperatura da água

Para controlar a temperatura da água no tanque de têmpera, o modelo escolhido é um sensor de temperatura da Thermotec, Modelo Termopar Tipo "J" Isolação metálica. Importante instalar o sensor o mais próximo do ponto de mergulho da peça na água e assim realizar a leitura com precisão.

**Figura 10** - Periférico instalado para gerar dados da temperatura da água

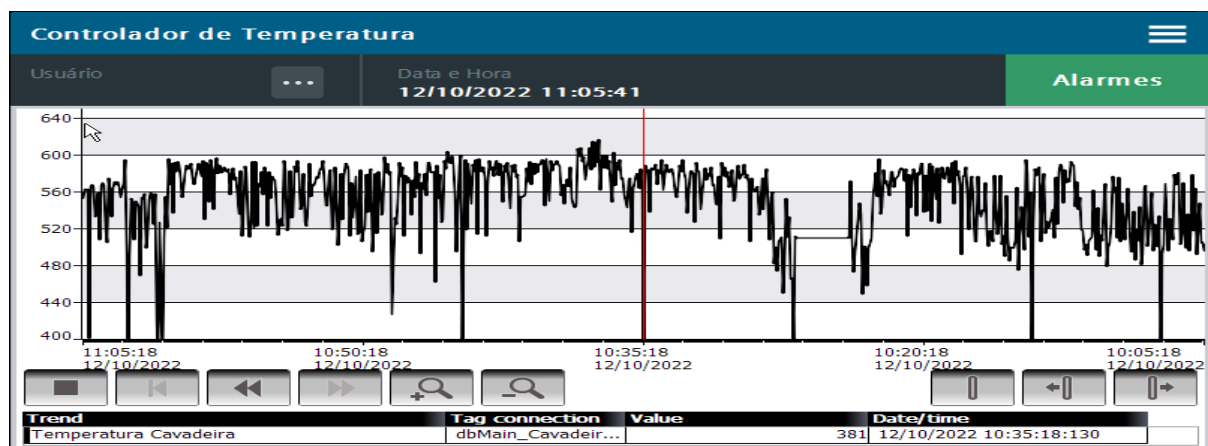


**Fonte:** Setor de automação da Tramontina Multi (sensor).

### 4.4 Coleta dados

Através da leitura dos sensores é possível gerar dados de forma instantânea no visor do equipamento e armazenar para geração de relatórios ou exportação para planilhas Excel. Os dados gerados são da data de produção, horário da coleta da temperatura, temperatura da peça e da água.

**Figura 11** - Dados de leitura da temperatura das peças

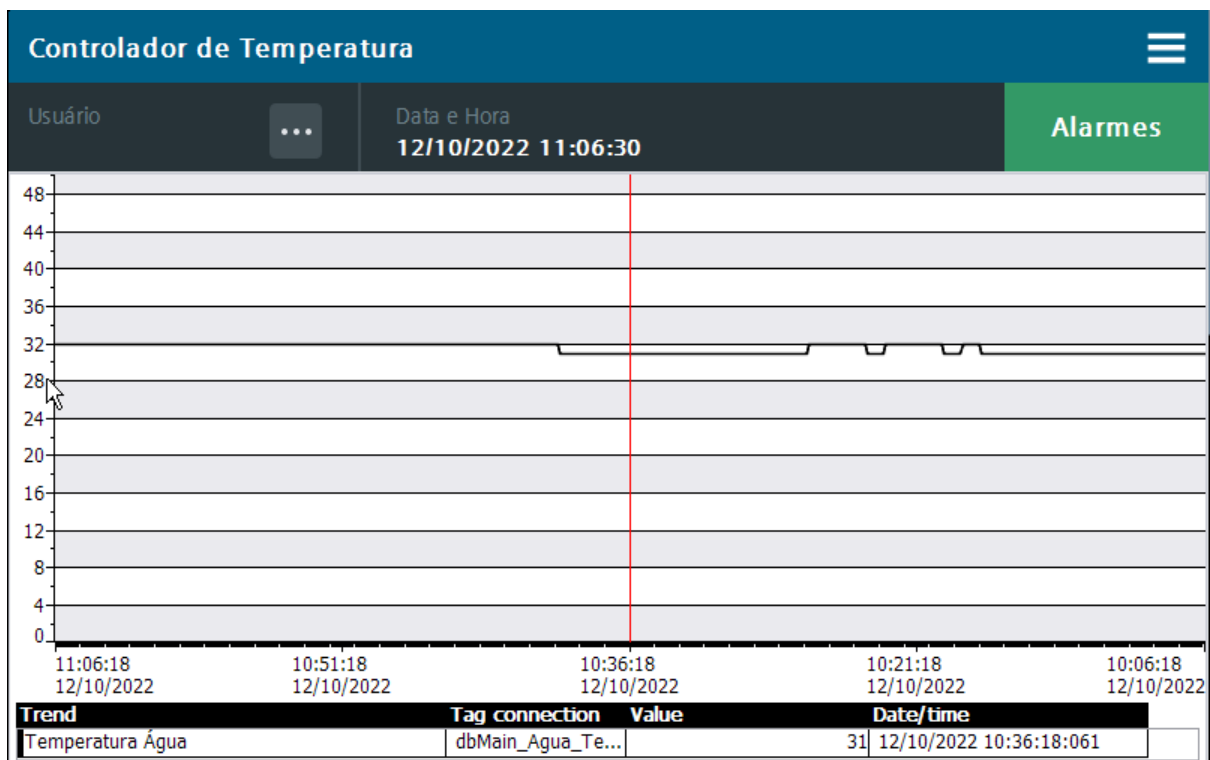


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Foram coletados dados da temperatura da peça e água entre os dias 28/09/2022 a 11/10/2022. Coletamos informações de 91.804 peças. A temperatura estabelecida do forno de têmpera ficou dentro da especificação da Instrução operacional (IO).

A figura 11 demonstra a variação na temperatura da água do tanque de têmpera.

**Figura 12** - Dados de leitura da temperatura da água



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.5 Análise dos dados

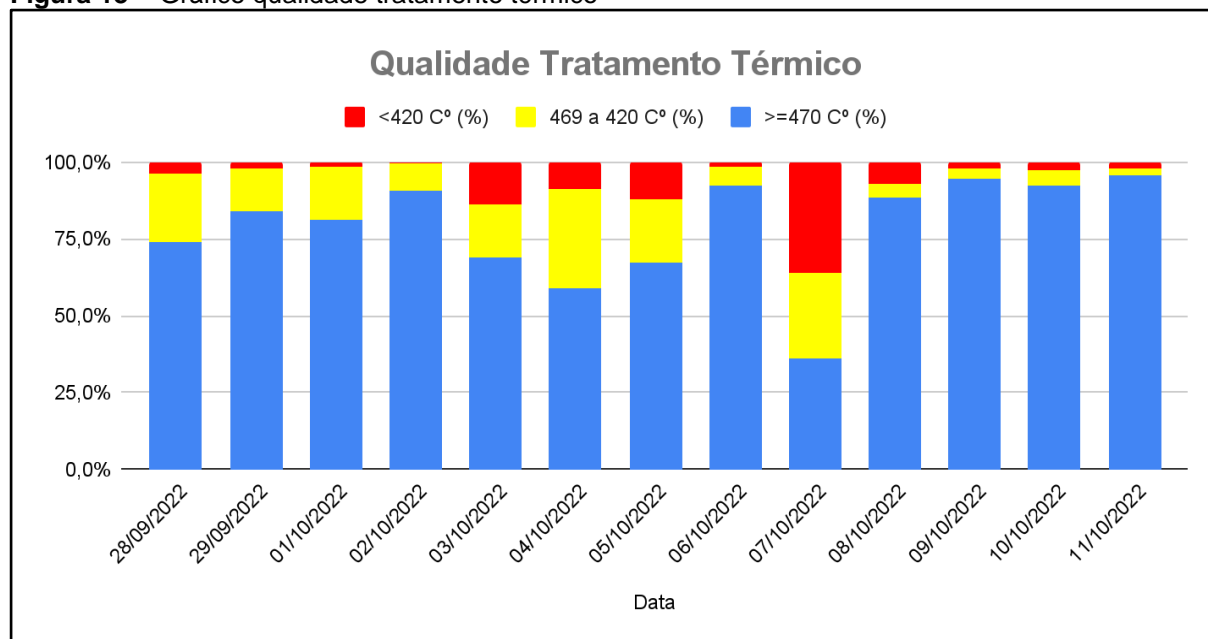
Os dados coletados pelos sensores foram importados para uma planilha de Excel. São 13 dias de acompanhamento, com 91.804 peças analisadas, onde foram classificadas as temperaturas em ordem crescente para buscar identificar quantas peças não temperaram, quantas cavadeiras não ficaram com a dureza dentro do especificado e o percentual de peças com a qualidade desejada.

Através da análise dos dados é possível constatar, conforme figura 10, grande oscilação na temperatura, a amplitude dos extremos ocorreram no dia 07/10/22, com



247 C° e no dia 08/10/22 com 684 C°. Com a análise foi construído um gráfico para demonstrar o nível de qualidade do tratamento térmico das cavadeiras articuladas.

**Figura 13** - Gráfico qualidade tratamento térmico



Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico podemos visualizar em azul o percentual de cavadeiras com boa qualidade, ou seja, ficaram em uma temperatura acima de 470 C° ao estampar e posicionar no tanque de água. Em média 72.270 peças foram produzidas com boa qualidade, percentualmente representam 78,8% do total.

**Tabela 5** - Resumo coleta de dados

Data	>=470 C°	469 a 420 C°	<420 C°	Total	>=470 C° (%)	469 a 420 C° (%)	<420 C° (%)
28/09/2022	3.828	1.137	196	5.161	74,2%	22,0%	3,8%
29/09/2022	1.896	306	49	2.251	84,2%	13,6%	2,2%
01/10/2022	7.004	1.460	134	8.598	81,5%	17,0%	1,6%
02/10/2022	4.569	434	28	5.031	90,8%	8,6%	0,6%
03/10/2022	1.556	399	309	2.264	68,7%	17,6%	13,6%
04/10/2022	4.325	2.381	649	7.355	58,8%	32,4%	8,8%
05/10/2022	7.950	2.423	1.461	11.834	67,2%	20,5%	12,3%
06/10/2022	11.346	763	212	12.321	92,1%	6,2%	1,7%
07/10/2022	2.752	2.124	2.766	7.642	36,0%	27,8%	36,2%

08/10/2022	7.761	344	642	8.747	88,7%	3,9%	7,3%
09/10/2022	8.412	315	177	8.904	94,5%	3,5%	2,0%
10/10/2022	8.502	489	236	9.227	92,1%	5,3%	2,6%
11/10/2022	2.369	51	49	2.469	95,9%	2,1%	2,0%
	<b>72.270</b>	<b>12.626</b>	<b>6.908</b>	<b>91.804</b>	<b>78,8%</b>	<b>13,9%</b>	<b>7,3%</b>

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Também é possível identificar pela análise de dados em amarelo, que 13,9% (12.626 pçs) das peças possuem tratamento térmico, contudo não atingem a qualidade desejada. No indicador na cor vermelha podemos perceber que 7,3% das peças (6.908 pçs) não sofreram tratamento térmico devido a baixa temperatura ao estampar e temperar.

Os dados coletados com o sensor de controle da temperatura da água no tanque de tempera mostram que 99,91% das cavadeiras foram temperadas dentro da temperatura indicada de 5 a 40 C°. Os dados também mostram amplitude de 16 a 41 C°, onde 0,09% (83 PÇS) ficaram acima da temperatura desejada, abaixo do mínimo não houve registro. Os dados estão compilados na apêndice 1.

#### **4.6 Análise de resultados**

Existem diversas formas de sensoriamento e uma amplitude de benefícios para a indústria, com a instalação dos sensores na linha de produção da cavadeira articulada, foi possível identificar perdas significativas de qualidade, atualmente não perceptíveis nos controles de produção. Usando o sensoriamento dos equipamentos envolvidos nas operações será possível integrar todo processo produtivo, melhorando a qualidade e produtividade da linha, sendo possível monitorar as operações, criar alertas prevendo uma inatividade ou perda de qualidade.

Com o sensoriamento foi evidenciado a criticidade da operação de estampar peças/temperar. O sensor infravermelho FT-H50K teve bom desempenho e suporta o ambiente hostil de trabalho. O mesmo vale para o sensor Thermotec instalado na água. Os dados gerados pelos sensores e periféricos permitem uma robusta avaliação e trazem resultados que indicam claramente o percentual de perdas.

Como é possível verificar na figura 13, existe muita perda de qualidade na operação, causada pela dificuldade operacional para repetibilidade exigida ao ser humano. Esses valores justificam a implantação de sistemas automatizados, principalmente por se tratar da operação crítica e gargalo de produção da linha. A indústria 4.0 vem ao encontro dessa necessidade, aplicando tecnologias em tempo real em busca de melhores resultados para a empresa.

#### **4.7 Discussões**

Como avaliado nos tópicos anteriores, o sensoriamento dos equipamentos da operação gargalo de marcar e estampar as peças e sua integração para criar alertas e interrupções automáticas de qualidade não desejada, é uma medida possível, de baixo custo e com alta probabilidade de ser eficiente.

Outro ponto crítico é a operação manual de marcar e estampar as peças, um ambiente de alta repetibilidade, calor e hostil ao ser humano. Para esse caso, uma possibilidade seria o possível uso de câmaras de visão inteligentes acopladas em robôs. O sistema de visão para localizar, inspecionar e orientar peças, executa tarefas que são praticamente impossíveis para as pessoas fazerem de forma confiável e consistente.

As câmaras de visão possuem um sistema de visão inovador, são poderosas ferramentas de visão óptica, capturam imagens de forma rápida e tem capacidade de controlar o processo. A tecnologia oferecida por empresas como ABB, Yaskawa, Mitsubishi, permite localizar, inspecionar ou rastrear produtos, dispõem de entrada/saída suficiente para praticamente qualquer cenário de inspeção, com sistema de visão inteligente e podem ser implantadas rapidamente.

É importante escolher o modelo a utilizar, analisando o poder de programação oferecido, o funcionamento do conjunto de comandos robotizados, e a capacidade de comunicar-se com o robô e a câmera. Um possível modelo seria a câmera da série CV-X da Keyence. Tem 64 megapixels, captura imagens e fornece uma faixa mais ampla com detalhes nítidos para que se tenha maior estabilidade de inspeção, opera em alta velocidade com suporte a LumiTrax™ e possui um sensor de ângulo integrado, ideal para inspeções convencionais. (Keyence, 2022).

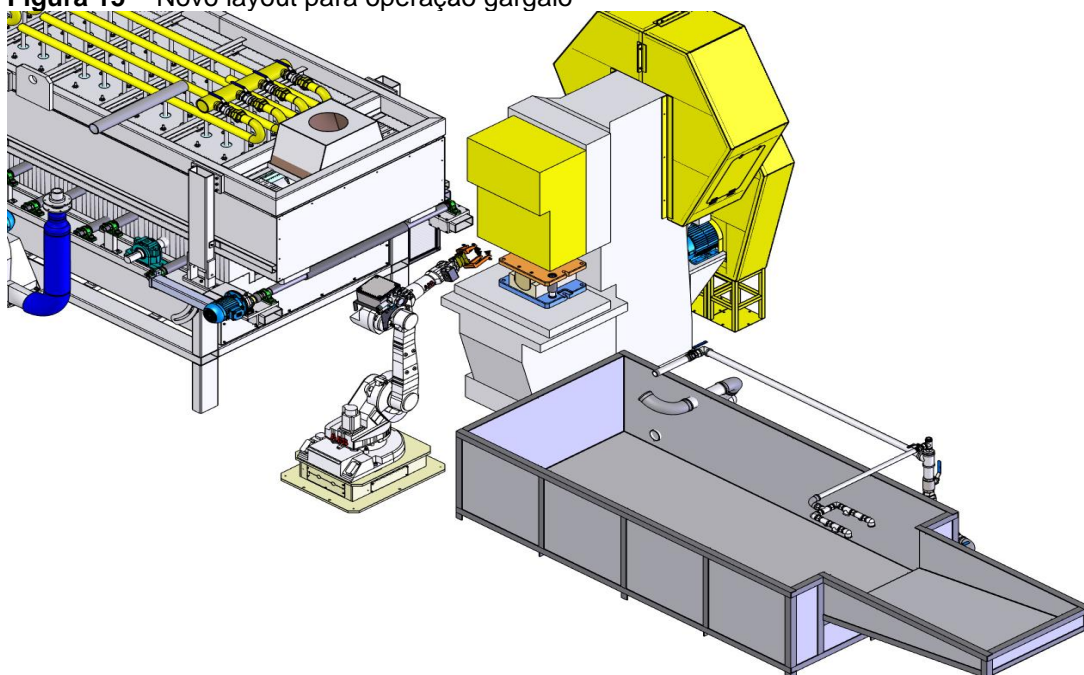
**Figura 14** - Modelo Sistema visão



Fonte: Elaborado pelo autor.

O estudo do novo layout em 3D demonstra como poderia ficar a automação. Segundo Yildiz (2020), a simulação é uma das novas tecnologias da indústria 4.0, e o uso de sistemas para simular é importante para competir em mercados com ciclos de vida do produto mais curtos em função do aumento da demanda de customização nos mercados globais.

**Figura 15** - Novo layout para operação gargalo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para Implantação do sistema automatizado de produção e seu funcionamento de forma integrada, é necessário definir e construir um esquema elétrico/eletrônico para integrar as operações.

A Implantação do sistema automatizado de produção o sensoriamento é parte vital, e permite a programação de funcionalidades para impedir a produção de peças com baixa qualidade. Para automatizar o processo, é necessário definir um projeto de engenharia e autorizar um investimento da empresa.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os novos tempos da manufatura impulsionados pelas tecnologias da indústria 4.0 e a constante necessidade das empresas evoluírem, buscando inovar em seus processos produtivos, são uma necessidade que não pode ser ignorada e é premissa básica para continuar competindo, gerando evolução para sociedade, reduzindo custos, uso de insumos e gerando lucros (Mandic, 2020).

O sensoriamento dos equipamentos na linha de cavadeira possibilitou identificar uma perda direta de qualidade de **7,3%** e indireta de **13,9%**. O sensoriamento permite criar alertas visuais e eletrônicos para operadores e inspetores de qualidade. Através do sensoriamento, também é possível programar ajustes de forma automática na temperatura do forno de aquecimento e da água no tanque de têmpera, vantagens determinantes para competitividade da linha.

Entre as várias tecnologias da indústria 4.0, a robotização para operações complexas e repetitivas ao ser humano, privilegiam a saúde e segurança do colaborador, permite que a pessoa realize tarefas menos desgastantes fisicamente e que exigem habilidades mais inerentes ao ser. A implementação do Robô com câmera de visão térmica poderá incrementar um ganho em qualidade de até **21,2%**.

Existem diversos modelos e métodos apresentados por autores de como implantar um sensoriamento e automação por câmeras de visão nos processos manufaturados. O estudo de caso se aprofundou nos conceitos implantados no mercado, identificou forma simples e objetiva de analisar através do sensoriamento as perdas e conseqüentemente os possíveis ganhos.

É importante observar que não houve tempo hábil para implantação da automação com robô e uso de câmera de visão e a vista disso, coletar e analisar os

resultados, contudo, em outras implantação de robô para operações gargalo na empresa, obteve-se crescimento na produtividade acima de **10%**.

Conclui-se que, com sistemas de sensoriamento conseguimos identificar significativas perdas de qualidade, justificando a necessidade de implantação de uma célula automatizada, atingindo o objetivo proposto no estudo de caso. Se tratando de uma linha de produção que representa **7,41%** do faturamento anual e considerando que existem outras 10 linhas produtivas com a mesma operação e dificuldades, e que somadas representam mais de 50% do faturamento anual, existe um campo para exploração de inovação para o futuro.

## REFERÊNCIAS

BAUDET, Nathalie; MAIRE, Jean-Luc; PILLET, Maurice. The visual inspection of product surfaces. **Food Quality and Preference**, v. 27, n. 2, p. 153-160, 2013.

BERTOLDI, Evandro. **Análise de Ensaios de Dureza Brinell e Rockwell em Corpo de Prova**. Horizontina (RS), 2014.

BI, Chao *et al.* Image technology in dimension measurement of high temperature parts. **中國機械工程學刊**, v. 35, n. 5, p. 355-361, 2014.

CESAR, AMRVC. Método do Estudo de Caso (Case studies) ou Método do Caso (Teaching Cases)? Uma análise dos dois métodos no Ensino e Pesquisa em Administração. **REMAC Revista Eletrônica Mackenzie de Casos, São Paulo-Brasil**, v. 1, n. 1, p. 1, 2005.

CHARMAZ, Kathy; DENZIN, Norman K.; LINCOLN, Yvonna S. **Handbook of qualitative research**. Thousand Oaks, 2000.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**. Abm, 1977.

DE OLIVEIRA, Silvio Luiz. **Tratado de metodologia científica**. São Paulo: Pioneira, v. 2, p. 7, 1997.

DO VALE, Alan Rafael Menezes. **Tratamento térmico**. Belém: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), 2011.

EDITORA, SENAI-SP (Ed.). **Tratamento térmico dos metais—Da teoria à prática**. SENAI-SP Editora, 2018.

FACHIN, Odília. **Fundamentos de metodologias**. Saraiva Educação SA, 2001.

FENGQUE, Pei *et al.* Research on design of the smart factory for forging enterprise in the industry 4.0 environment. **Mechanics**, v. 23, n. 1, p. 146-152, 2017.

FERREIRA, Maurício Ionak; VOGLER, Daniel Tarnoski; DA SILVA, Mayara Cristina Ghedini. Benefícios do processo de pintura eletrostática em estruturas metálicas como forma de sustentabilidade empresarial. *In: JORNADA CIENTÍFICA DOS CAMPOS GERAIS, Anais [...]*, v. 17, 2019.

FLICK, Uwe. **Qualidade na pesquisa qualitativa**: coleção pesquisa qualitativa. Bookman editora, 2009.

FRANÇA, Pablo philipe de Azevedo Mascena; MARTINS, Daniel Lopes; NETO, Adrião Duarte Dória. Ambiente híbrido de simulação utilizando sensores industriais sem fio. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA-CBA*, 2019.

FRASER, Clive S.; RIEDEL, Björn. Monitoring the thermal deformation of steel beams via vision metrology. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 55, n. 4, p. 268-276, 2000.

GADE, Rikke; MOESLUND, Thomas B. Thermal cameras and applications: a survey. **Machine vision and applications**, v. 25, n. 1, p. 245-262, 2014.

GIUGGIOLI, Guglielmo; PELLEGRINI, Massimiliano Matteo. Artificial intelligence as an enabler for entrepreneurs: a systematic literature review and an agenda for future research. **International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research**, 2022.

GOKHALE, Pradyumna; BHAT, Omkar; BHAT, Sagar. Introduction to IOT. **International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology**, v. 5, n. 1, p. 41-44, 2018.

GOMES, Ruan D. *et al.* Desafios de redes de sensores sem fio industriais. **Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação**, v. 4, n. 1, p. 16-27, 2014.

HEJAZI, Hamdan *et al.* Survey of platforms for massive IoT. *In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUTURE IOT TECHNOLOGIES (FUTURE IOT)*, 2018, IEEE, 2018. p. 1-8.

HUGHES, Robert C. *et al.* Sensors. **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology**, 2000.

KAMBLE, Sachin S.; GUNASEKARAN, Angappa; GAWANKAR, Shradha A. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process safety and environmental protection**, v. 117, p. 408-425, 2018.

KERÄNEN, Kimmo *et al.* Infrared temperature sensor system for mobile devices. **Sensors and Actuators A: Physical**, v. 158, n. 1, p. 161-167, 2010.

KERÄNEN, Kimmo *et al.* Infrared temperature sensor system for mobile devices. **Sensors and Actuators A: Physical**, v. 158, n. 1, p. 161-167, 2010.4.

KEYENCE BRASIL - Empresa fornecedora de sensores, sistemas de medição, marcadores a laser, microscópios e sistemas de visão. Disponível em: [https://www.google.com/aclk?sa=l&ai=DChcSEwibhrPpoNv5AhWXc28EHc09ASMYABABGgJqZg&sig=AOD64\\_2b-wlvDSIpkNZbndbq2Y7Wsfzl-g&q&adurl&ved=2ahUKEwig\\_6bpoNv5AhXJR7gEHWCgDOkQ0Qx6BAgDEAE](https://www.google.com/aclk?sa=l&ai=DChcSEwibhrPpoNv5AhWXc28EHc09ASMYABABGgJqZg&sig=AOD64_2b-wlvDSIpkNZbndbq2Y7Wsfzl-g&q&adurl&ved=2ahUKEwig_6bpoNv5AhXJR7gEHWCgDOkQ0Qx6BAgDEAE)

KLUMP, Rainer; JURKAT, Anne; SCHNEIDER, Florian. Tracking the rise of robots: A survey of the IFR database and its applications. 2021.

LATIF, Shahid *et al.* A blockchain-based architecture for secure and trustworthy operations in the industrial Internet of Things. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 21, p. 100190, 2021.

LEE, Jay *et al.* Industrial Artificial Intelligence for industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing letters**, v. 18, p. 20-23, 2018.

LOBÃO, Fábio Santos; BAUCHSPIESS, Adolfo. Automatização da Calibração de Câmeras de Baixo Custo para Uso em Visão Computacional. **Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (Setembro), Bauru, SP**, 2003.

MANDEL, Constantin *et al.* Model-Based Systems Engineering Approaches for the integrated development of product and production systems in the context of Industry 4.0. In: **2020 IEEE International Systems Conference (SysCon)**. IEEE, 2020. p. 1-7.

MANDIC, Vesna. Model-based manufacturing system supported by virtual technologies in an Industry 4.0 context. In: **Proceedings of 5th International Conference on the Industry 4.0 Model for Advanced Manufacturing**. Springer, Cham, 2020. p. 215-226.

MENDES, Rosana Maria; MISKULIN, Rosana Giaretta Sguerra. A análise de conteúdo como uma metodologia. **Cadernos de Pesquisa**, v. 47, p. 1044-1066, 2017.

MINELLA, Felipe. **Estudo da descarbonetação de aços baixa liga no tratamento térmico em atmosfera controlada**. 2009.

MOELLMANN, Artur Henrique *et al.* Aplicação da teoria das restrições e do indicador de eficiência global do equipamento para melhoria de produtividade em uma linha de fabricação. **Revista gestão industrial**, v. 2, n. 1, 2006.

MUHURI, Pranab K.; SHUKLA, Amit K.; ABRAHAM, Ajith. Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview. **Engineering applications of artificial intelligence**, v. 78, p. 218-235, 2019.



O'LEARY, Paul. Machine vision for feedback control in a steel rolling mill. **Computers in Industry**, v. 56, n. 8-9, p. 997-1004, 2005.

OZTEMEL, Ercan; GURSEV, Samet. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 31, n. 1, p. 127-182, 2020.

SCHLEMMER, Eliane. Projetos de aprendizagem gamificados: uma metodologia inventiva para a educação na cultura híbrida e multimodal. **Momento-diálogos em educação**, v. 27, n. 1, p. 42-69, 2018.

SOUSA, Enes Amaral; SILVA, José Beroaldo; MACHADO, Ronnie Mário Conceição; **Desenvolvimento de um dispositivo com sensor infravermelho para a medição de temperatura em materiais não reflexivos sem contato físico**. In: CONGRESSO NACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA FACULDADE ENIAC, 17., 2017.

SZURGACZ, Dawid *et al.* Thermal imaging study to determine the operational condition of a conveyor belt drive system structure. **Energies**, v. 14, n. 11, p. 3258, 2021.

THOMAZINI, Daniel; DE ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. Saraiva Educação SA, 2020.

USUGA CADAVID, Juan Pablo *et al.* Machine learning applied in production planning and control: a state-of-the-art in the era of industry 4.0. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 31, n. 6, p. 1531-1558, 2020.

VILLALBA-DIEZ, Javier *et al.* Deep learning for industrial computer vision quality control in the printing industry 4.0. **Sensors**, v. 19, n. 18, p. 3987, 2019.

WANG, Pan *et al.* Introduction: Advances in IoT research and applications. **Information Systems Frontiers**, v. 17, n. 2, p. 239-241, 2015.

WENDLING, Marcelo. Sensores. **Universidade Estadual Paulista**. São Paulo, v. 2010, p. 20, 2010.

YILDIZ, Emre; MØLLER, Charles; BILBERG, Arne. Virtual factory: digital twin based integrated factory simulations. **Procedia CIRP**, v. 93, p. 216-221, 2020.

ZHAO, Rui *et al.* Deep learning and its applications to machine health monitoring. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 115, p. 213-237, 2019.

## **Biografia dos Autores**

### **Anderson Hanauer**

Possui graduação em Administração de empresas pela Fisul (2014), MBA em Gestão Comercial (2016) e Pós-graduação em Engenharia Industrial (2022). Especialização em Liderança e Gestão de competência pela Evoluire. Atualmente é Gerente de produção em uma empresa de grande porte com mais de 30 anos atuando em gestão de diferentes áreas na indústria metal mecânica. Tem especial interesse em indústria 4.0; sistemas de produção; gestão de equipes; psicologia do trabalho; e neurociência.

### **Ivandro Cecconello**

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela UCS (1998) e mestrado em Engenharia de Produção pela UFSC (2002). Doutor em Administração pela UCS (2019), na linha de pesquisa em estratégia e operações. Atualmente é professor de Graduação e Pós-Graduação da Universidade de Caxias do Sul. Coordenador de cursos de pós-graduação em Engenharia Industrial e Engenharia 4.0. Larga vivência na área de Engenharia de Produção e Mecânica, com ênfase em Planejamento, Projeto e Controle de Sistemas de Produção de componentes automotivos. Mais de 25 anos de experiência na Área Industrial, atuando em Lean Manufacturing, Desenvolvimento de Produto, Processo e Ferramental. Experiência na gestão de equipes multidisciplinares e transformação de empresas (turnaround). Tem especial interesse e pesquisa sobre: lean manufacturing; gestão de projetos; indústria 4.0; sistemas de produção; moldes de injeção; digitalização; simulação; e produtos inteligentes.



Artigo recebido em: 20/02/2023 e aceito para publicação em: 08/11/2023  
DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v23i2.4846>