



## Inovação na Indústria das Embalagens Metálicas: Um estudo sobre o impacto da inspeção automática da qualidade neste setor

**Autores:** Diogo Ferreira, Fábio Miranda, Pedro Deusdado, José Gonçalves e Magno Guedes (Introsys, S.A.); Alexandra Peixoto e Marta Mendes (CATIM); Diogo Rodrigues (Colep Packaging)

### RESUMO

As embalagens metálicas são um recurso bastante versátil tendo em conta a sua capacidade de proteção dos bens encapsulados. Por conseguinte, são normalmente utilizadas para armazenamento de produtos com prazo de validade alargado, por exemplo, na indústria conserveira, ou em aerossóis para conter matérias sob pressão. É, assim, de elevada importância garantir a integridade estrutural de cada embalagem produzida, cuja qualidade deve ser assegurada de acordo com normas e diretivas definidas para este tipo de produto. No entanto, esta verificação contínua e abrangente a 100% das embalagens produzidas numa linha de produção é complexa e exigente. O presente estudo conduz a uma análise compreensiva de um vasto espectro de técnicas de inspeção, desde a inspeção visual manual ao domínio sofisticado das tecnologias de ponta, como a visão artificial, a inspeção ultrassónica e os sistemas baseados em inteligência artificial.

Ao analisar cuidadosamente os pontos fortes e as limitações de cada abordagem, este estudo procura identificar os casos de uso mais eficazes e adaptáveis para satisfazer as diversas necessidades da inspeção da qualidade. Este estudo pretende contribuir com uma análise comparativa entre as soluções existentes e tecnologia emergente, consubstanciado numa proposta dos autores deste artigo, destacando as vantagens e características inovadoras que possam contribuir para uma democratização do controlo da qualidade na produção de embalagens metálicas.

Palavras-chave: Sistemas de visão, controlo de qualidade, latas metálicas, indústria de embalamento

## 1. INTRODUÇÃO

Num cenário industrial em constante evolução, cada vez mais sensível às necessidades dos consumidores finais e à garantia de sustentabilidade dos processos produtivos, a qualidade dos produtos tem sido alvo de uma crescente preocupação por parte dos fabricantes, em que a margem de erro nos processos de produção diminuiu substancialmente. Métodos tradicionais de controlo da qualidade tornaram-se insuficientes, o que levou à procura e adoção de novas soluções capazes de elevar a qualidade final dos produtos a patamares superiores, sem descuidar a eficiência dos processos e os custos de produção.

A inspeção manual de produtos (considerando posição, geometria e tipo de material), continua a ser um desafio considerável em todos os setores industriais. No entanto, confiar unicamente nas capacidades humanas para tarefas tão complexas expõe os trabalhadores a riscos físicos e mentais. A fadiga, movimentos não ergonómicos e horas prolongadas de vistoria contribuem para elevadas taxas de variação nas unidades de produção.

Neste contexto, a introdução de métodos não destrutivos, como o recurso à visão artificial, tem vindo a tornar-se cada vez mais comum. Estas tecnologias representam uma convergência de *hardware* e *software* sofisticados que utilizam técnicas avançadas de processamento de dados, algoritmos de aprendizagem automática e inteligência artificial. Esta abordagem permite a análise metódica e em tempo real de 100% dos produtos ao longo da linha de produção, sem necessidade de intervenção humana. A capacidade destes sistemas de realizar inspeções em tempo real e identificar até os menores defeitos que poderiam passar despercebidos com métodos tradicionais, contribui para manter a consistência na qualidade do produto.

No âmbito desta evolução tecnológica, a Introsys destaca-se no desenvolvimento de soluções de visão artificial. O projeto Produtech R3 apresenta sistemas automatizados de controlo da qualidade em diversos setores, incluindo embalamento, alimentar e cortiça. Concretamente no setor de embalamento, a Introsys criou um sistema de visão artificial destinado à inspeção de tampas de latas metálicas. Este sistema, equipado com tecnologias avançadas de controlo de qualidade, realiza inspeções metódicas em linhas de produção de alta velocidade. A abordagem inovadora de inspeção dupla, onde tanto a parte superior quanto o lado inverso da tampa são minuciosamente analisadas, assegura um controlo de qualidade robusto e redundante. Ao implementar tais soluções, a Introsys oferece aos fabricantes a capacidade de atingir um nível inigualável de garantia de qualidade, aumentando assim, a satisfação do cliente num mercado extremamente competitivo. A convergência entre a tecnologia de visão artificial e o controlo de qualidade não apenas impulsiona avanços neste setor, mas também representa um progresso significativo na busca por processos industriais mais eficientes, competitivos e sustentáveis [1].

## 2 – ESTADO DA ARTE

### 2.1 – História

A inspeção de latas de metal sofreu uma evolução significativa ao longo

da sua história, impulsionada pelo compromisso da indústria com o controlo da qualidade. Inicialmente, a verificação visual dos produtos na linha de produção estava atribuída aos operadores, porém implicava tempo adicional e era vulnerável à falha humana. A introdução de máquinas de inspeção mecânica no início do século XX automatizou o processo e simplificou a identificação de defeitos. No entanto, estas máquinas tinham limitações na deteção de defeitos pouco visíveis sob a superfície. A década de 1950 marcou um ponto de viragem com a introdução dos equipamentos de inspeção por ultrassons [2-4], que utilizam ondas sonoras para detetar defeitos ocultos sem comprometer o produto. Esta técnica permitiu progredir neste sector ao identificar defeitos óbvios e implícitos. Posteriormente, a tecnologia de raios-X revolucionou a inspeção de latas de metal, ao permitir a deteção de objetos estranhos, discrepâncias no nível de enchimento e falhas no material [5], [6]. Atualmente, a inspeção de latas de metal continua a evoluir com a integração de tecnologias de ponta como a inteligência artificial, a aprendizagem automática e os conceitos da Indústria 4.0.

### 2.2 – Controlo da Qualidade

O controlo da qualidade é essencial na indústria, pois incorpora procedimentos metódicos para avaliar e garantir a conformidade dos produtos e serviços de acordo com os critérios estabelecidos e aceites, tanto de um ponto de vista legal, como da necessidade e expectativas dos consumidores. Visa assegurar que o desempenho empresarial atinge ou supera padrões de performance, segurança e sustentabilidade, envolvendo inspeções rigorosas, testes exaustivos e análises detalhadas de matérias-primas e produtos. Este processo abrangente realiza-se com o objetivo de identificar, corrigir e evitar defeitos ou não-conformidades em relação aos parâmetros aceitáveis [7].

A eficiência do processo de controlo da qualidade é crucial na indústria da manufatura, permitindo criar uma linha de defesa contra a proliferação de defeitos ou erros, contribuindo para a redução do desperdício e custos de produção, assim como para o aumento da credibilidade e fiabilidade dos produtores. Esta eficiência contribui para uma vantagem competitiva e estabilidade financeira por parte das empresas neste setor. Além disso, desempenha um papel fundamental na satisfação do cliente, pois fortalece parcerias a longo prazo. No contexto regulatório, o controlo da qualidade assegura o cumprimento de normas ambientais e previne consequências legais, como multas ou danos à reputação empresarial.

O controlo da qualidade na indústria não é um processo discreto, mas sim uma intervenção permanente e rigorosa que abrange todo o ciclo de fabrico. Requer comunicação entre diversos departamentos, como produção, engenharia, gestão da qualidade e até mesmo marketing. Para estabelecer uma intervenção consistente nos processos de fabrico, as empresas adotam uma abordagem multifacetada, combinando inspeção manual, testes automatizados, análise estatística e metodologias como Six Sigma ou Gestão da Qualidade Total, para garantir que os seus produtos respondem aos mais elevados padrões e asseguram a sua posição de valor no mercado.

A implementação de um sistema de controlo da qualidade na indústria envolve várias etapas cruciais. Devem ser definidas métricas adequadas para a validação dos requisitos de qualidade e selecionados métodos eficazes de inspeção e/ou ensaio, assegurando a comunicação e resolução das anomalias detetadas.

A evolução do controlo da qualidade, de manual para automatizado com a introdução de técnicas baseadas em en-

saio não-destrutivos, como o caso da visão artificial, oferece vantagens significativas para a indústria e para os seus clientes. Para a indústria, a integração destes sistemas melhora a eficiência e eficácia dos processos, o que reduz custos de produção através da prevenção ou mitigação de defeitos. A automação assegura inspeções consistentes e fiáveis através da eliminação de erros associados à inspeção humana e do risco de defeitos não detetados. Os clientes beneficiam de produtos mais confiáveis, que consistentemente atendem ou excedem as suas expectativas, gerando fidelidade na marca. A convergência entre controlo da qualidade e sistemas de visão resulta na capacidade de inspecionar todos os produtos, evitando-se a necessidade de inferir a sua qualidade por amostragem. Tais produtos conseguem ser superiores aos demais, pois oferecem maior garantia de segurança e fiabilidade, que é traduzido num aumento da satisfação e confiança do cliente [8].

O controlo da qualidade está incluído na gestão da qualidade, que inclui os conceitos: planeamento da qualidade, garantia da qualidade e melhoria da qualidade. Em [9], os autores descreveram todos os componentes da gestão da qualidade, tornando mais claro para o leitor o seu impacto na indústria.

### 2.3 – Métodos de Inspeção

Nos últimos anos, a indústria de embalamento tem assistido a avanços significativos ao nível das tecnologias de inspeção de latas de metal, tendo revolucionado as práticas de controlo da qualidade. Os sistemas de inspeção de última geração utilizam tecnologias de ponta para garantir uma maior qualidade do produto, otimizar os processos de produção e cumprir normas regulamentares rigorosas. O domínio da inspeção de metais tem evoluído, incorporando tecnologias inovadoras para melhorar e garantir uma qualidade superior dos produtos [10].

A inspeção de superfícies planas metálicas é essencial para a indústria metalúrgica, conforme destacam os autores de [11]. Eventuais defeitos superficiais que não sejam tratados de forma específica podem comprometer a integridade do produto metálico, o que pode resultar em custos significativos tanto para o fabricante como para o utilizador final. Em ambiente industrial, a tarefa de inspecionar este tipo de superfície é extremamente difícil devido à variedade de geometrias e tipologias, tanto do material que compõem a embalagem, como dos defeitos que podem ser gerados.

Tendo a visão artificial mostrado maior capacidade, a nível prático, para satisfazer todos estes requisitos, os autores apresentam cinco passos sequenciais para inspecionar superfícies planas metálicas: aquisição de imagem; pré-processamento de imagem; extração de características; seleção de características; classificador de defeitos. De todas as etapas referidas, a extração de características está diretamente ligada à aplicação de algoritmos para obter propriedades metálicas. Cada propriedade tem o seu próprio método de extração (baseado em escala de cinzentos, forma, textura, transformação ou aprendizagem automática).

Para corroborar esta potencial solução, os autores fizeram uma revisão de cerca de duas décadas de investigação sobre a deteção visual au-

tomatizada de defeitos em superfícies planas de aço, e constataram a necessidade de equilibrar precisão e eficiência relativamente a: atingir o funcionamento em tempo real; priorizar a redução do ruído ao nível do sensor e; apelar a critérios de avaliação normalizados através da análise de diversos conjuntos de dados.

Outra análise relativa à inspeção em superfícies planas de aço é apresentada em [12], os autores descrevem a importância da superfície metálica no sector industrial referindo que é provavelmente o mais importante de todos os metais em termos de quantidade e variedade de utilização. Em termos de inspeção, as principais dificuldades apresentadas são: localização – iluminação; câmaras e equipamento de processamento de sinais; grande variedade de defeitos de superfície; elevada velocidade de funcionamento; elevado número de câmaras - considerando produtos planos longos.

Além disso, este estudo enumera os defeitos de superfície mais comuns dos produtos planos de aço. Dependendo das características do produto, existem diferentes anomalias passíveis de serem identificadas. Os defeitos mais comuns são: fissuras, riscos, furos, sobre enchimento e corrosão.

Em conclusão, este documento analisa os métodos de inspeção automáticos para superfícies de aço que utilizam técnicas de processamento de imagem que abrangem um período de mais de duas décadas. São destacados os desafios colocados pelo ambiente rigoroso das fábricas de transformação de aço, destacando a necessidade de uma iluminação precisa e da conceção de sistemas de processamento de imagem que permitam lidar com o ruído proveniente das condições da superfície a analisar.

O documento assinala uma mudança de foco na deteção de defeitos em superfícies planas geradas por laminagem a frio para superfícies planas ou perfilados gerados por laminagem a quente, recorrendo a várias técnicas, incluindo redes neuronais e máquinas de vetores de suporte. O funcionamento em tempo real é essencial para a produção de aço a alta velocidade, o que exige sistemas com hardware dedicado. No entanto, persistem desafios devido à falta de imagens padronizadas, métodos experimentais e definição de defeitos. Os sistemas comerciais de inspeção automatizada estão consolidados, mas requerem afinação e colaboração contínua para se adaptarem às características dos defeitos em contínua evolução.

Em [13], foi desenvolvido um sistema de visão artificial para inspecionar as superfícies de esferas metálicas e identificar defeitos. As esferas metálicas são amplamente utilizadas em vários componentes de máquinas, particularmente em indústrias como a dos rolamentos, onde a sua integridade estrutural é crítica devido à exposição a alta pressão e fricção. Este sistema inovador utiliza um par de câmaras CCD progressivas para captar múltiplas imagens em escala de cinzentos da superfície da esfera em movimento, reduzindo eficazmente os reflexos especulares. Os defeitos são detetados através da comparação de cada imagem captada com uma imagem de referência, o que permite ao sistema classificar eficazmente duas esferas cromadas por segundo. Esta capacidade de deteção de defeitos de alta precisão garante a manutenção das propriedades mecânicas e evita potenciais falhas da máquina.

Outra aplicação é a deteção de defeitos na superfície de aço laminado a

quente, avaliação complexa pois a sua aparência heterogénea dificulta a identificação e caracterização de defeitos estéticos.

Os métodos de deteção tradicionais, baseados em modelos ou em segmentações binárias, têm problemas de desempenho nas situações anteriormente descritas. Por conseguinte, o estudo em [14] incide na extração de defeitos a partir de imagens de superfícies através de aprendizagem automática de forma a possibilitar a distinção entre tipos de defeitos. Foi desenvolvido um sistema de inspeção visual automatizado para aquisição de imagens em tempo real numa fábrica de produção aço para detetar a localização de defeitos. Os autores concluem que o método utilizado é mais adequado à inspeção de aço do que a utilização de modelos baseados em segmentações tradicionais. Os autores referem ainda que os métodos utilizados têm uma limitação pois, ao inspecionar em tempo real a alta velocidade (5 m/s), o desempenho diminui.

Atualmente, as redes neuronais desempenham um papel importante na inspeção de metais, tendo revolucionado a forma como se detetam defeitos e garantem a qualidade dos produtos na indústria. Estes algoritmos sofisticados, inspirados no cérebro humano, analisam enormes conjuntos de dados de imagens de superfícies metálicas, raios-X ou leituras de sensores eletromagnéticos. Ao aprender com padrões e anormalidades nos dados, as redes neuronais podem identificar imperfeições como fissuras, amolgadelas ou irregularidades em tempo real, com uma precisão e velocidade elevadas. Esta tecnologia não só aumenta a fiabilidade dos produtos, mas também minimiza o risco de falhas graves em aplicações críticas, tornando-se numa ferramenta importante no domínio da inspeção de metais.

Em [15] é proposta uma técnica de extração de características em várias camadas

com base em redes neurais convolucionais (CNN), utilizadas em pequenos conjuntos de dados. A flexibilidade do método proposto permite a utilização de qualquer rede neuronal para a extração de características. Além disso, introduz um mecanismo de votação por maioria (MVM) para resolver problemas de ajuste excessivo que surgem frequentemente com pequenos conjuntos de dados. Este MVM funde características de várias camadas utilizando classificadores lineares (máquinas de vetores de suporte). Em comparação com outras redes neurais convolucionais com camadas pré-escolhidas, este método apresenta um desempenho muito positivo quando aplicado a dados desafiantes e em conjuntos de dados com diferentes texturas. Em [16], é proposta a utilização de uma abordagem de aprendizagem automática e a criação de um modelo de rede neuronal artificial baseado na estrutura YOLO para a detecção de defeitos superficiais em juntas soldadas. O conjunto de dados é constituído por imagens de soldaduras captadas por um laser de um sistema de visão. Com esta base, foi construído um modelo de rede neuronal artificial para analisar a relação e prever a presença de defeitos nas imagens. As principais métricas do modelo atingiram uma exatidão de 95%, uma precisão de 86% e uma recuperação de 92% com um nível de confiança de 40%, no conjunto de dados de teste. Os autores referem que a exatidão e a cobertura do sistema proposto estão a um nível elevado e não requerem grandes investimentos para a sua implementação.

#### 2.4 - Inspeção de Latas de Metal

Nesta secção, após uma visão global das várias técnicas utilizadas para inspecionar superfícies metálicas, o foco é direccionado para a inspeção de latas metálicas.

Em [17], os autores propõem uma solução baseada em visão artificial para a

deteção de defeitos na superfície de tampas de latas. O sistema é composto por um transportador, uma câmara e uma fonte de luz para realçar os defeitos apresentados nas peças industriais. O processo de extração dos defeitos é realizado em 3 passos sequenciais: primeiro, é calculada uma região de interesse através da deteção de círculos, de seguida um mapa de relevo e filtros de textura são utilizados para destacar os possíveis defeitos e, finalmente, estes são extraídos com filtros de tamanho e área. Na Figura 1 estão representados os passos explicitados anteriormente. Os resultados obtidos mostram que a precisão é próxima de 98% e o tempo de execução é de 65,7 milissegundos. Os autores destacam que o método proposto pode inspecionar defeitos finos e de baixo contraste com alta precisão mesmo a alta velocidade.

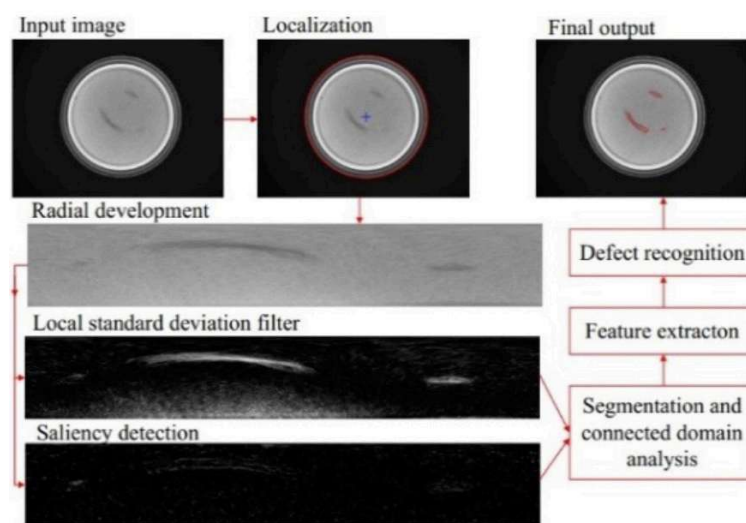


Figura 1 - Algoritmo utilizado para inspeção de tampas de latas metálicas [17]

Na indústria alimentar, a fratura de latas metálicas durante a produção é uma falha significativa. Este incidente pode conduzir a vários problemas, incluindo o mau funcionamento do mecanismo de abertura fácil, a fuga de alimentos ou contaminação. Por conseguinte, é imperativo implementar um procedimento de inspeção destinado a remover este tipo de anomalias da linha de produção. No entanto, as características únicas da sua localização e do defeito de rutura tornam difícil a utilização de equipamento de inspeção simples para uma avaliação abrangente de todas as latas em tempo real.

Em [18], é apresentado um método para identificar defeitos de fratura em extremidades de latas através de visão artificial. A abordagem proposta envolve várias etapas importantes, incluindo a deteção da zona a inspecionar através da segmentação *Otsu*, a aplicação de filtros morfológicos e a análise dos componentes ligados. De forma a verificar a conformidade da amostra em questão, foi utilizado um classificador de distância mínima baseado em características de circularidade e área. A Figura 2 mostra a definição da região de interesse (esquerda), o histograma da distribuição da intensidade e a imagem segmentada (direita). Em termos de *hardware*,

este sistema é semelhante ao de [17], contudo, utiliza métodos diferentes para extrair os defeitos do metal. Os resultados mostram que a precisão máxima alcançada é de 98,13%.

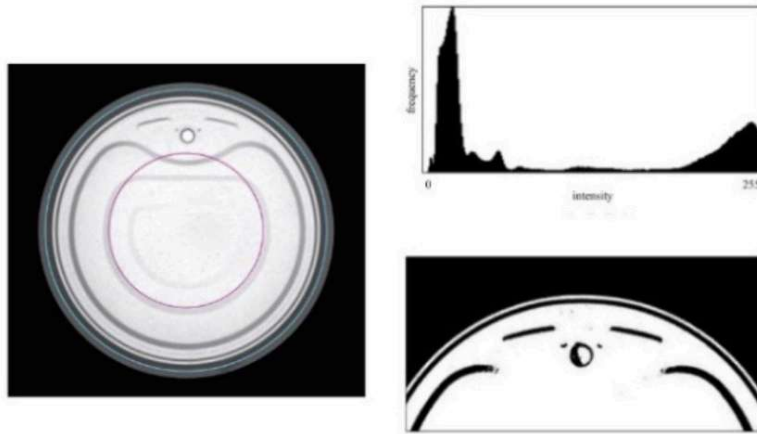


Figura 2 - Etapas da segmentação das latas metálicas [18]

Em [19], é mencionado que, de acordo com as diretrizes da *Association of Food and Drug Officials (AFDO)*, os defeitos nos alimentos enlatados são classificados em três classes com base na extensão dos danos no corpo da lata. Estas classes são as seguintes: Classe 1 - Defeito crítico; Classe 2 - Defeito grave e; Classe 3 - Defeito menor. Os investigadores propõem utilizar o algoritmo *YOLOv4* para classificar automaticamente estes defeitos de acordo com as normas *AFDO* através de uma configuração multi-câmara ligada a um *Raspberry Pi 4*. Nesta instalação, as imagens da lata serão captadas a partir de três ângulos diferentes: vista lateral esquerda, vista superior e vista lateral direita. Estas imagens são depois introduzidas no modelo de classificação de defeitos, que calcula que tipo de classe está presente em cada imagem (Figura 3). O sistema teve um desempenho satisfatório, alcançando uma taxa de precisão global de 93%.



Figura 3 - Defeito crítico detetado pelo algoritmo de [19]

Em suma, foram analisadas três soluções de inspeção de latas metálicas que utilizam diferentes técnicas de deteção de defeitos: filtros de textura/mapa de saliência, filtro *Otsu*/morfológicos e redes neuronais (*YOLOv4*).

Em todas estas, os resultados foram positivos com uma exatidão superior a 90%, o que prova que dependendo da superfície a ser inspecionada, existem várias abordagens válidas para a inspeção da qualidade do metal.

### 3 – Normas e Regulamentos

Esta secção identifica as normas e regulamentação para embalagens metálicas de aerossóis (latas) de acordo com as diretivas europeias e internacionais. No sector industrial, é da responsabilidade do fabricante identificar e cumprir os requisitos legais e regulamentares relevantes, bem como outras exigências dos clientes.

Os seguintes documentos foram considerados relevantes para as latas de aerossol (lista não exaustiva de normas):

- EN ISO 90-2:1999 - Contentores metálicos leves - Definições e determinação das dimensões e capacidades - Parte 2: Contentores de uso geral (ISO 90-2:1997)
- EN ISO 90-3:2001 Contentores metálicos leves - Definições e determinação das dimensões e capacidades - Parte 3: Latas de aerossóis (ISO 90-3:2000)
- EN ISO 11683: 1997 - Embalagens - Avisos tácteis de perigo - Requisitos (ISO 11683:1997)
- EN 13025-1:2005 - Embalagens - Contentores metálicos de calibre leve - Parte 1: Volumes nominais de enchimento para recipientes metálicos redondos, cilíndricos e cónicos de uso geral até 40 000 ml
- EN 13029:2009 - Embalagens - Embalagens metálicas leves - Aberturas para fechos de plástico de encaixe
- EN 14847:2005 - Embalagens de aerossóis - Embalagens metálicas - Dimensões do orifício de 25,4 mm

- EN 14850:2005 - Embalagens de aerossóis - Recipientes metálicos com abertura de 25,4 mm - Medição da altura de contacto
- EN 15007:2017 - Embalagens de aerossóis - Embalagens de metálicas - Dimensões das latas de duas e três peças
- EN 10202: 2022 - Produtos estanhados a frio - Chapa de estanho eletrolítico e aço revestido de crómio/óxido de crómio eletrolítico
- BS 1262: 2002 - Embalagens metálicas. Recipientes metálicos redondos com tampa de alavanca para revestimentos de superfície. Especificação
- FEA\* 100 Normalização - Termos básicos, princípios, procedimento e disposição
- FEA\* 216 Recipientes metálicos para aerossóis - Dimensões das superfícies de apoio das pinças de fecho
- FEA\* 222 Recipientes metálicos para aerossóis - Diretrizes para obter condições ótimas para recipientes com abertura de 25,4 mm
- FEA - Federação Europeia de Aerossóis, as normas mais importantes do sector foram convertidas em normas EN ou incluídas na legislação da União Europeia.

No que diz respeito à regulamentação (a nível nacional\*\* e europeu), é apresentada de seguida uma lista não exaustiva:

- DIRECTIVA DO CONSELHO de 20 de Maio de 1975 relativa à aproximação das legislações dos Estados-membros respeitantes às embalagens aerossóis
- DIRECTIVA 94/1 /CE DA COMISSÃO de 6 de Janeiro de 1994 respeitante à adaptação técnica da Directiva 75/324/CEE do Conselho

relativa à aproximação das legislações dos Estados-membros respeitantes às embalagens aerossóis

- \*\*Decreto-Lei n.º 61/2010 de 9 de Junho, Transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2008/47/CE, da Comissão, de 8 de Abril, que altera, para fins de adaptação ao progresso técnico, a Diretiva n.º 75/324/CEE, do Conselho, de 20 de Maio, relativa à aproximação das legislações dos Estados membros respeitantes às embalagens aerossóis
- DIRETIVA 2013/10/UE DA COMISSÃO de 19 de março de 2013 que altera a Diretiva 75/324/CEE do Conselho relativa à aproximação das legislações dos Estados-Membros respeitantes às embalagens aerossóis, a fim de adaptar as suas disposições de rotulagem ao Regulamento (CE) n.º 1272/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho relativo à classificação, rotulagem e embalagem de substâncias e misturas
- \*\*Decreto-Lei n.º 62/2014 de 24 de abril - Transpõe a Diretiva n.º 2013/10/UE, da Comissão, de 19 de março de 2013, que altera a Diretiva n.º 75/324/CEE, do Conselho, de 20 de maio de 1975, relativa à aproximação das legislações dos Estados-Membros respeitantes às embalagens aerossóis, a fim de adaptar as suas disposições de rotulagem ao Regulamento (CE) n.º 1272/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro de 2008, relativo à classificação, rotulagem e embalagem de substâncias e misturas, procedendo à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 61/2010, de 9 de junho.
- DIRETIVA (UE) 2016/2037 DA COMISSÃO de 21 de novembro de 2016 que altera a Diretiva 75/324/CEE do Conselho no que diz respeito à pressão máxima admissível das embalagens aerossóis e a fim de adaptar as suas disposições de rotulagem ao Regulamento (CE) n.º 1272/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho relativo à classificação, rotulagem e embalagem de substâncias e misturas
- DIRECTIVA 94/62/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 20 de Dezembro de 1994 relativa a embalagens e resíduos de embalagens
- REGULAMENTO (CE) N.º 1935/2004 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, de 27 de Outubro de 2004, relativo aos materiais e objetos destinados a entrar em contacto com os alimentos e que revoga as Diretivas 80/590/CEE e 89/109/CEE
- \*\*Decreto-Lei n.º 175/2007 Estabelece as regras de execução, na ordem jurídica interna, do Regulamento (CE) n.º 1935/2004, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de Outubro, relativo aos materiais e objetos destinados a entrar em contacto com os alimentos, e revoga o Decreto-Lei n.º 193/88, de 30 de Maio.

\*\* Lei portuguesa

## 4 – COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE INSPEÇÃO

### 4.1 – Técnicas de Inspeção

O controlo da qualidade no sector industrial evoluiu ao longo dos anos, da inspeção visual realizada por operadores, nas linhas de produção, para sistemas automatizados de controlo da qualidade. No setor metalúrgico, são utilizados ultrassons e inspeções visuais (manuais ou automáticas) para detetar produtos não conformes.

A análise do sinal de resposta de ultrassons incidentes em superfícies metálicas oferece várias vantagens. Em primeiro lugar, é um método de ensaio não destrutivo, o que significa que pode detetar características externas e internas sem causar danos, o que o torna particularmente valioso para componentes críticos e materiais dispendiosos. Em segundo lugar, fornece dados com definição suficiente para permitirem a localização com elevado grau de certeza e a caracterização de defeitos como fissuras e falhas. É também relativamente rápida, garantindo um controlo da qualidade e práticas de intervenção eficientes, o que permite, em última análise, melhorar a segurança e a fiabilidade dos componentes metálicos. No entanto, esta apresenta algumas limitações tais como: custo do equipamento; superfícies inadequadas; restrições ao nível do tipo de materiais (homogéneos), assim como, gama de espessuras e profundidade de penetração.

Os fatores acima referidos provam que esta técnica não tem a flexibilidade necessária para se adaptar a diferentes situações geradas pelas propriedades e geometria dos materiais.

A inspeção visual automática é um método de ensaio não destrutivo e versátil que utiliza a luz visível e, ocasionalmente, outras partes do espectro eletromagnético, como os infravermelhos ou os ultravioletas, para avaliar a qualidade, as dimensões e a integridade de objetos ou materiais. Envolve a utilização de vários sistemas óticos, incluindo câmaras, sensores e tecnologia avançada de processamento de imagem, para captar e analisar meticulosamente imagens do objeto a ser inspecionado. A inspeção ótica tem tido aplicação generalizada no controlo da qualidade numa variedade de indústrias e processos, incluindo manufatura, eletrónica, farmacêutica, automóvel e aeroespacial, entre outras.

A inspeção ótica é conhecida pela sua elevada velocidade e precisão, tornando-a uma ferramenta valiosa para automatizar as técnicas e métodos de inspeção visual e garantir a consistência do produto. A versatilidade e a flexibilidade da tecnologia permitem a sua utilização numa vasta gama de aplicações. Este tipo de inspeção pode ser utilizado para tarefas como a deteção de defeitos, avaliação da qualidade de superfícies, medição dimensional, verificações de alinhamento e até mesmo o reconhecimento ótico de caracteres (OCR) para leitura de texto em etiquetas ou componentes. Além disso, a sua capacidade de realizar inspeções com grande rapidez e precisão torna-o particularmente adequado para ambientes de produção de grande volume, onde pode identificar até os mais pequenos defeitos ou desvios das especificações.

### 4.2 – Técnicas Aplicadas Sistemas de Visão

No que diz respeito à inspeção visual automática, existem várias técnicas que podem ser utilizadas para inspecionar superfícies metálicas (deteção de defeitos e controlo dimensional) e, dependendo dos casos de uso, cada técnica oferece vantagens e desvantagens. Em [20], são apresentados vários exemplos de deteção de defeitos com recurso à visão artificial. Nesta secção irão ser apresentadas várias técnicas: segmentação; extração de características; inspeção 3D e redes neuronais.

A segmentação envolve a aplicação de algoritmos básicos de processamento de imagem, tais como operações morfológicas, filtros e segmentações. Quando aplicadas à inspeção de metais, estas técnicas permitem a identificação das dimensões do metal e o realce dos defeitos, mas não a sua classificação. Os algoritmos baseados em segmentação binária são simples, computacionalmente eficientes e adequados para a segmentação binária. No entanto, são sensíveis ao ruído e às variações das condições de iluminação. Os algoritmos morfológicos são eficazes para eliminar pequenos objetos ou ruído numa imagem, assim como para reduzir ou afinar os seus limites. No entanto, se forem utilizados em excesso, podem resultar em erosão ou fusão de elementos. A segmentação também pode ser utilizada depois da imagem ter sido filtrada. Vários filtros podem ser utilizados para otimizar o processo de segmentação, sendo a redução de ruído e o realce de características especialmente influentes.

A extração de características na visão artificial é um processo essencial que envolve a identificação e a extração de propriedades ou atributos específicos de superfícies ou objetos metálicos. Estas características extraídas servem de base para a análise subsequente, permitindo a deteção de defeitos, a avaliação da qua-

lidade e a classificação de componentes metálicos. As propriedades mais comuns incluem arestas, texturas, irregularidades da superfície e aspetos geométricos. Esta técnica melhora a precisão da inspeção e o controlo da qualidade. Permite uma avaliação automatizada e consistente dos componentes metálicos, o que elimina a falha humana e permite acelerar os processos de fabrico. É possível monitorizar e obter resultados em tempo real, o que permite a tomada de medidas imediatas quando são detetadas anomalias. No entanto, a implementação de algoritmos de extração de características pode ser tecnicamente complexa e sensível à variabilidade ambiental.

A inspeção 3D de metais pode ser utilizada como um procedimento de controlo da qualidade [21-23]. As tecnologias avançadas de varrimento e imagem 3D permitem uma análise abrangente e pormenorizada dos componentes metálicos, que capta não só as características da superfície, mas também a estrutura tridimensional. Uma das principais vantagens da inspeção 3D de metais é a sua capacidade de detetar até desvios subtis, imperfeições superficiais e variações dimensionais que podem ser indetetáveis pelos métodos 2D tradicionais. No entanto, a implementação de sistemas de inspeção 3D pode ser complexa, dispendiosa e lenta, sendo necessário equipamento especializado e conhecimentos específicos. Alguns benefícios deste tipo de inspeção são: maior precisão e abrangência; a redução do desperdício e; garantia da integridade/qualidade dos produtos metálicos.

As redes neuronais revolucionaram o âmbito da inspeção de metais, proporcionando uma ferramenta poderosa e flexível para o controlo automático da qualidade e a deteção de defeitos [24-26]. Quando aplicadas à inspeção de metais, as redes neuronais podem identificar anomalias, defeitos ou irregularidades em tempo real, per-

mitindo uma avaliação rápida e precisa da qualidade. As redes neuronais convolucionais (CNN) revelaram-se particularmente eficazes para tarefas baseadas em imagens, como a deteção de falhas, fissuras ou inclusões em superfícies metálicas. No entanto, a utilização bem-sucedida de redes neuronais na inspeção de metais depende do acesso a dados de treino amplos e rotulados bem como do desenvolvimento de modelos robustos. Embora a tecnologia ofereça uma precisão e eficiência notáveis, também requer uma calibração cuidadosa para minimizar os falsos positivos ou negativos.

Em suma, existem várias técnicas de inspeção de superfícies metálicas, cada uma com as suas vantagens e desvantagens (dependendo da aplicação específica). Se o objetivo principal for o controlo dimensional, a utilização de redes neuronais pode não ser necessária, uma vez que o foco da inspeção da qualidade é a localização de objetos e a deteção de defeitos. Em vez disso, devem ser consideradas técnicas como a segmentação, a extração de características ou a inspeção 3D, cuja escolha depende dos requisitos específicos de precisão, exatidão, velocidade e custo. Por outro lado, na deteção de defeitos, podem ser utilizados todos os algoritmos.

Na classificação do tipo de defeito, as redes neuronais são a escolha mais adequada. A seleção da técnica mais eficaz deve ser orientada consoante o caso de uso específico, os resultados pretendidos e os critérios desejados.

## 5 - CONCLUSÃO

A inspeção de embalagens de metal é fundamental para garantir a qualidade e a segurança dos vários produtos enlatados que implica um controlo minucioso de cada lata para detetar qualquer tipo de defeito. Este processo de inspeção rigoroso ajuda a evitar a contaminação e a deterioração do conteúdo, o que é particularmente crítico para os produtos.

A avaliação da inspeção de latas metálicas apresentou resultados positivos, com taxas de sucesso consistentemente elevadas em três tecnologias de inspeção diferentes: redes neuronais, filtros de textura e algoritmos morfológicos. A solução da Introsys centra-se em duas funções-chave: deteção de defeitos e controlo dimensional. Estas inspeções são realizadas a alta velocidade (5 peças por segundo) e têm em conta uma vasta gama de características do produto, como a cor e a forma. Em comparação com as soluções analisadas, que se concentram apenas na deteção de defeitos, a solução da Introsys destaca-se pela sua adaptabilidade e versatilidade. No entanto, os defeitos detetados não são classificados em tempo real, uma capacidade que pode ser conseguida utilizando redes neuronais. A integração deste algoritmo inclui desafios adicionais devido aos recursos de processamento limitados e à velocidade da linha de produção, porém, se a capacidade de processamento necessária for alcançada, será possível integrar a classificação de defeitos em tempo real.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho é financiado pela União Europeia no âmbito do programa Next Generation EU, através do Plano de Recuperação e Resiliência da República Portuguesa (PRR), no âmbito do projeto PRODUTECH R3 -

“Agenda Mobilizadora da Fileira das Tecnologias de Produção para a Reindustrialização”, Investimento total do projeto: 166.988.013,71 Euros; Incentivo total: 97.111.730,27 Euros.

## REFERÊNCIAS

- [1] Ren, Zhonghe and Fang, Fengzhou and Yan, Ning and Wu, You, State of the art in defect detection based on machine vision, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, pp. 661–691 2022.
- [2] Simas Filho, Eduardo F and Souza, Yure N and Lopes, Juliana LS and Farias, Cláudia TT and Albuquerque, Maria CS, Decision support system for ultrasound inspection of fiber metal laminates using statistical signal processing and neural networks, *Ultrasonics*, pp. 1104–1111 2013.
- [3] Park, Heesang and Choi, Manyong and Park, Jeounghak and Kim, Wontae, A study on detection of micro-cracks in the dissimilar metal weld through ultrasound infrared thermography, *Infrared Physics & Technology*, pp. 124–131 2014.
- [4] Everton, Sarah and Dickens, Phill and Tuck, Chris and Dutton, Ben, Using laser ultrasound to detect subsurface defects in metal laser powder bed fusion components, *Jom*, pp. 378–383 2018.
- [5] Mery, Domingo and Saavedra, Daniel and Prasad, Mukesh, X-ray baggage inspection with computer vision: A survey, *Ieee Access*, pp. 145620–145633 2020.
- [6] Forien, Jean-Baptiste and Calta, Nicholas P and DePond, Philip J and Guss, Gabe M and Roehling, Tien T and Matthews, Manyalibo J, Detecting keyhole pore defects and monitoring process signatures during laser powder bed fusion: A correlation between in situ pyrometry and ex situ X-ray radiography, *Additive Manufacturing*, pp. 101336 2020.
- [7] Keist, CN, Quality control and quality assurance in the apparel industry, *Garment Manufacturing Technology*, pp. 405–426. 2015
- [8] Robert, Isabelle S and Remael, Aline, Quality control in the subtitling industry: an exploratory survey study, *Meta*, pp. 578–605 2016
- [9] Foidl, Harald and Felderer, Michael, “Research challenges of industry 4.0 for quality management,” *Innovations in Enterprise Information Systems Management and Engineering: 4th International Conference, ERP Future 2015-Research*, Munich, Germany, November 16-17, 2015, Revised Papers 4, pp. 121–137
- [10] Yun, Jong Pil and Shin, Woosang Crino and Koo, Gyogwon and Kim, Min Su and Lee, Chungki and Lee, Sang Jun, Automated defect inspection system for metal surfaces based on deep learning and data augmentation, *Journal of Manufacturing Systems*, pp. 317–324 2020.
- [11] Simas Filho, Eduardo F and Souza, Yure N and Lopes, Juliana LS and Farias, Cláudia TT and Albuquerque, Maria CS, Decision support system for ultrasound inspection of fiber metal laminates using statistical signal processing and neural networks, *Ultrasonics*, pp. 1104–1111 2013

- [12] Neogi, Nirbhar and Mohanta, Dasmanta K and Dutta, Pranab K, Review of vision-based steel surface inspection systems, *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, pp. 1–19, 2014
- [13] Do, Yongtae and Lee, Sangok and Kim, Yoonsu, Vision-based surface defect inspection of metal balls, *Measurement Science and Technology*, 2011
- [14] Ghorai, Santanu and Mukherjee, Anirban and Gangadaran, M and Dutta, Pranab K, Automatic defect detection on hot-rolled flat steel products, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 62, pp. 612–621, 2012.
- [15] Natarajan, Vidhya and Hung, Tzu-Yi and Vaikundam, Sriram and Chia, Liang-Tien, Convolutional networks for voting-based anomaly classification in metal surface inspection, *IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, pp. 986–991, 2017
- [16] Cherkasov, Nikita and Ivanov, Mikhail and Ulanov, Weld Surface Defect Detection Based on a Laser Scanning System and YOLOv5, *International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, pp. 851–855, 2023
- [17] Zhou, Xianen and Wang, Yaonan and Zhu, Qing and Liu, Xuebing and Xiao, Zeyi and Xiao, Changyan and Chen, Tiejian, Machine vision based automatic apparatus and method for surface defect detection, *13th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)*, pp. 1697–1702, 2018
- [18] ZStivanello, Maurício Edgar and Marcellino, Kleber Juan, A machine vision system for online metal can-end rivet inspection, *Journal of Physics: Conference Series*, 2019
- [19] Asenci, Aljohn G and Bulawan, Joshua Emmanuel DC and Padilla, Dionis A, Canned Food Surface Defect Classification Using YOLOv4, *5th International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)*, pp. 717–722 2022
- [20] Ren, Zhonghe and Fang, Fengzhou and Yan, Ning and Wu, You, State of the art in defect detection based on machine vision, *Meta*, pp. 661–691 2022
- [21] Lin, Xiaobin and Wang, Jianxing and Zhou, Yingwu and Lin, Chen, A rapid 3d vision inspection system for sheet metal parts based on feature extraction and partial point clouds, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018
- [22] Vandone, Ambra and Baraldo, Stefano and Anastassiou, Demetris and Marchetti, Andrea and Valente, Anna, 3D vision system integration on Additive Manufacturing machine for in-line part inspection, *Procedia CIRP*, pp. 72–77, 2020
- [23] Kowal, Janusz and Sioma, Andrzej, 3D vision system integration on Additive Manufacturing machine for in-line part inspection, *Proceedings of the 13th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, pp. 382–387, 2012
- [24] Passos, Adriano G and Cousseau, Tiago and Luersen, Marco A, Smart Deep Convolutional Neural Network for Real-Time Surface Inspection, *Computer Systems Science & Engineering*, 41, 2022
- [25] Singh, Laxman and Alam, Altaf and Kumar, K Vijay and Kumar, Devendra and Kumar, Parvendra and Jaffery, Zainul Abidin, SDesign of thermal imaging-based health condition monitoring and early fault detection technique for porcelain insulators using Machine learning, *Environmental Technology & Innovation*, 24, 2021
- [26] Tulbure, Andrei-Alexandru and Tulbure, Adrian-Alexandru and Dulf, Eva-Henrietta, A review on modern defect detection models using DCNNs–Deep convolutional neural networks, *Journal of Advanced Research*, pp. 33–48, 2022