

VISÃO COMPUTACIONAL NA INDÚSTRIA: TENDÊNCIAS E EXEMPLOS PRÁTICOS

Pedro Antonio de Albuquerque Felizola Romeral (USP)

Eduardo de Senzi Zancul (USP)

Paulo Tromboni de Souza Nascimento (USP)



A visão computacional tem se destacado dentre os campos da Inteligência Artificial por permitir aplicações diversas nas indústrias, facilitando a gestão e operação das organizações. Entretanto, há ainda o desafio de como operacionalizar essa tecnologia e são necessários mais estudos apresentando aplicações práticas. Neste contexto, o presente artigo tem como objetivo discutir as tendências em visão computacional na indústria e apresentar exemplos práticos de sucesso relatados na literatura científica. Metodologicamente foi realizada uma análise bibliométrica para verificar o cenário atual em que se encontra a visão computacional e uma revisão de literatura na base de dados Web of Science para elucidar tendências e exemplos práticos industriais. Foram identificados exemplos em diversos setores como horticultura, usinagem, mineralogia, entre outros. Como resultado, verifica-se que essa tecnologia está ganhando cada vez mais relevância no mercado e algumas soluções podem ser implementadas com equipamentos de baixo custo. As análises mostram que uma solução eficaz de visão computacional necessita de capacidade adequada de armazenamento e processamento de imagens e um algoritmo capaz de responder corretamente o que é proposto.

Palavras-chave: Visão computacional, Inteligência Artificial, Indústria, Aplicações.

1. Introdução

A Inteligência Artificial (IA) não é um fenômeno novo, mas tem atraído atenção tanto nos ambientes organizacionais quanto acadêmicos (HUIN et al., 2003). O uso da IA leva à solução de problemas com maior precisão, maior velocidade e fornece uma quantidade maior de possibilidades de ação. O desenvolvimento tecnológico recente mostra um potencial crescente da Inteligência Artificial e seus campos de aplicação (MIN, 2010).

Dentre os vários campos da Inteligência Artificial, temos a visão computacional, que é uma tecnologia relevante na indústria atualmente, com aplicações diversas. Embora os sistemas de visão computacional possam necessitar de tecnologias ou sistemas específicos, eles normalmente seguem etapas semelhantes aos algoritmos de Machine Learning, partindo da aquisição de imagens até a atuação. Essas etapas incluem aquisição óptica, considerando as restrições de cena; pré-processamento; segmentação; extração de recursos; classificação e/ou interpretação; e atuação (GOLNABI E ASADPOUR, 2007).

Como exemplos práticos pode-se citar manipulação de peças de sistemas robóticos (KINNELL et al, 2017); apoio à análise ergonômica de um ambiente industrial (KRUGER E NYUGEN, 2015) e até mesmo fins didáticos para capacitação de pessoal para trabalhar nas indústrias (ZANCUL et al., 2020).

Os avanços recentes da tecnologia de câmera e processamento, juntamente com a redução dos custos de hardware, podem acelerar a adoção da visão computacional nos mais diversos setores industriais. No entanto, muitas empresas ainda têm acesso limitado ao conhecimento relacionado às aplicações dessa tecnologia. Além disso, a visão computacional ainda não foi holisticamente coberta em cursos de graduação. As tecnologias relacionadas de hardware e software podem ser estudadas em cursos específicos, mas uma visão abrangente sobre as aplicações da visão computacional ainda geralmente não é abordada na graduação e as aplicações de ensino podem ser expandidas (ZANCUL et al., 2020).

Verifica-se a necessidade de compreender qual o atual estado da visão computacional na literatura e como essa tecnologia pode trazer benefícios à indústria em geral. Portanto, este trabalho tem como objetivo apresentar as tendências sobre visão computacional e exemplos práticos na indústria relatados na literatura acadêmica. Para atingir esse objetivo, uma análise bibliométrica foi realizada para facilitar a compreensão do cenário atual das pesquisas em visão computacional. Na sequência, uma revisão de literatura foi feita utilizando a base de dados Web of Science, elucidando as principais tendências e exemplos práticos da área.

2. Referencial teórico

Inteligência Artificial é a ciência e engenharia de fazer máquinas inteligentes, especialmente programas de computador inteligentes. Está relacionada à tarefa semelhante de usar computadores para entender a inteligência humana, mas a IA não precisa se limitar a métodos biologicamente observáveis. O primeiro trabalho de IA foi feito por McCulloch e Pitts em 1943 (MCCARTHY, 2007).

Dentre as aplicações de IA pode-se citar sistemas especializados, visão computacional, reconhecimento de fala, compreensão da linguagem natural, classificação heurística etc. (MCCARTHY, 2007). Vale reforçar que a IA não é apenas sobre robôs. Trata-se também de entender a natureza do pensamento e da ação inteligentes usando computadores como dispositivos experimentais (BUCHANAN, 2006).

Dentro do contexto da Inteligência Artificial, vale destacar o aprendizado de máquina (do inglês *machine learning* ou a sigla ML), que surgiu como um método para o desenvolvimento de softwares práticos de visão computacional, reconhecimento de fala, processamento de linguagem natural, controle de robôs e outras aplicações. Muitos desenvolvedores de sistemas de ML afirmam que, para muitas aplicações, é mais fácil treinar um sistema mostrando exemplos do comportamento desejado de entrada-saída do que programá-lo manualmente, antecipando a resposta desejada para todas as entradas possíveis (STURM et al., 2021; STEGER et al., 2017).

Os sistemas de ML devem ser configurados por humanos: um problema específico do mundo real deve ser escolhido, os dados precisam ser fornecidos e o algoritmo de aprendizado deve ser implementado. Essa configuração inicial depende fortemente da experiência dos envolvidos (por exemplo, cientistas de dados, engenheiros de software, especialistas em domínio, consultores externos), que selecionam, pré-processam e preparam os dados, e que configuram e ajustam o algoritmo de aprendizado baseado em suas próprias ideias sobre o problema do mundo real (STURM et al., 2021).

Como mencionado anteriormente, uma das aplicações de machine learning é a visão computacional. Ela é um dos ramos da Inteligência Artificial que estuda o processamento de imagens do mundo real por um computador. Em outras palavras, essa área investiga maneiras de dar às máquinas a capacidade de interpretar visualmente informações, ou seja, enxergar.

Connolly (2009) apresenta alguns benefícios no uso da visão computacional. Um deles é a inspeção de componentes e montagens, com a vantagem de inspecionar 100% das amostras em vez de verificações pontuais. Essa tecnologia permite que dados de aprovação/reprovação

sejam registrados e integrados com outras estatísticas de fábrica, e o sistema de visão computacional pode ser conectado à automação de fábrica, por exemplo, emitindo sinais para acionar mecanismos de rejeição. No campo do software, os algoritmos de correspondência de padrões estão se estendendo para a terceira dimensão, graças à disponibilidade de computadores com vários núcleos. Isso facilita a orientação de robôs e promove movimentos mais sensíveis, abrindo uma variedade de aplicações de montagem, desde a construção de motores de carro a montagem de peças delicadas. Connolly (2009) também menciona que a medição de componentes por visão computacional em 3D pode eliminar a necessidade de sondas táteis. O hardware de visão computacional está em constante evolução, com câmeras inteligentes oferecendo uma ferramenta de inspeção simples e diferentes modelos disponíveis para vários tipos de aplicação.

A indústria de visão computacional tem desfrutado de uma taxa de crescimento bem acima da média da indústria por muitos anos. Os sistemas de visão de máquina atualmente são parte integrante de muitas máquinas e linhas de produção. Além disso, os sistemas de visão de máquina são continuamente implantados em novos campos de aplicação, em parte porque os computadores ficam mais rápidos e, assim, permitem a solução de aplicativos que estavam fora de alcance apenas alguns anos atrás (STEGER et al., 2017).

Apesar de sua importância, existem poucos estudos que descrevem com detalhes suficientes a tecnologia relevante para a visão computacional. Poucos trabalhos descrevem os componentes de hardware que são usados em sistemas de visão computacional para adquirir imagens (iluminações, lentes, câmeras, interfaces de computador). Além disso, muitos livros descrevem apenas a teoria, mas não seu uso em aplicações do mundo real (DAVIES, 2004; STEGER et al., 2017).

Mesmo com ampla aplicabilidade e benefícios destacados, a implementação da visão computacional envolve dificuldades práticas consideráveis. O uso inadequado das ferramentas ou um algoritmo errôneo pode gerar análises inconclusivas e consumir tempo e memória excessivos de dispositivos. Apesar disso, com engenhosidade e cuidado, os problemas práticos podem ser superados e um dos papéis da academia é destacar como aplicar a tecnologia e superar esses obstáculos (DAVIES, 2004).

Estudos de IA no geral, mostram como consequência prática, que o desempenho dos melhores sistemas de IA atuais tende a ser prejudicado quando vão do laboratório para o campo. O desejo existente é de alcançar maior robustez mesmo quando há mudanças no ambiente de operação e se possível, reduzir a complexidade das operações nessa inserção em um ambiente real

(BENGIO; LECUN; HINTON, 2021). Isso mostra que é preciso verificar como essas tecnologias estão sendo implementadas em cenários complexos, em quais campos há avanços perceptíveis e como superar dificuldades na sua adoção.

A IA está se desenvolvendo muito rapidamente. Gestores estão tomando decisões críticas, para suas empresas e para a sociedade sobre os usos adequados dessa tecnologia. O mundo corporativo possui grande responsabilidade nessa questão. Essas decisões afetarão como trabalhar, como as empresas se organizarão e como interagimos no mundo. Alguns caminhos levam a um futuro em que a tecnologia nos suporta, fornecendo produtos e serviços aprimorados e melhores locais de trabalho. Outros caminhos levam a um trabalho fragmentado, experiências sociais empobrecidas e perda de privacidade (EUCHNER, 2019).

Diante de todo o exposto, verifica-se a relevância de aprofundar os estudos em Inteligência Artificial e mais especificamente, nas tecnologias e ferramentas que a rodeiam, como é o caso deste estudo que analisa visão computacional.

3. Metodologia

O presente trabalho se caracteriza como uma pesquisa qualitativa. Segundo Gephart (2004), a pesquisa qualitativa é uma pesquisa multimodal que utiliza uma abordagem interpretativa e naturalista do assunto proposto. Além disso, enfatiza as qualidades das entidades - os processos e significados que ocorrem naturalmente. Para o autor, os pesquisadores qualitativos também procuram explicar as observações da pesquisa, fornecendo insights conceituais bem substanciados que revelam como conceitos e teorias amplas operam em casos particulares.

Foi realizada uma revisão de literatura visando compreender como a literatura evidencia as aplicações práticas de visão computacional na indústria. Para essa revisão, uma busca foi realizada na base de dados indexada *Web of Science Core™ Collection* através do portal *ISI Web of Knowledge™* (Thomson Reuters). A string de busca utilizada foi [((“machine vision”) OR (“comput* vision”)) AND ((application*) OR (practice*))]. Foram selecionados apenas artigos publicados em periódicos, nos anos de 2021 e 2022. Foram obtidos 540 resultados, dos quais foram selecionados 10 para leitura, considerando os que possuíam a maior quantidade de citações e que citavam explicitamente, no título ou resumo, uma aplicação prática de visão computacional.

Por fim, vale discutir sobre critérios de qualidade em pesquisa qualitativa. Eisenhardt e Graebner (2007) reforçam que é necessária cuidadosa justificativa das teorias e validação com literatura. O pesquisador deve fornecer ricas evidências em tabelas e apêndices, basear sua

amostra teoricamente e conduzir as entrevistas de forma a limitar viés por parte dos informantes.

Como afirma Saunders et al (2016), é muito importante manter a confiabilidade ao longo de toda a pesquisa. Os autores apresentam algumas ameaças à confiabilidade:

- Erro de pesquisa: refere-se a qualquer fator que altera a interpretação do pesquisador. Por exemplo: o pesquisador pode estar insuficientemente preparado e, portanto, entender mal os significados sutis dos documentos levantados. Isto foi minimizado nesta pesquisa pois a revisão de literatura trouxe a compreensão de diversos conceitos que nortearam a condução do estudo de caso.
- Viés do pesquisador: refere-se a quaisquer fatores que induzem o viés nas análises do pesquisador. Por exemplo: o pesquisador que permite que opiniões e subjetividades apareçam nas análises. Nesse estudo, todas as análises e impressões foram registradas e organizadas, e a revisão de literatura pode ser replicada por completo por outros pesquisadores.

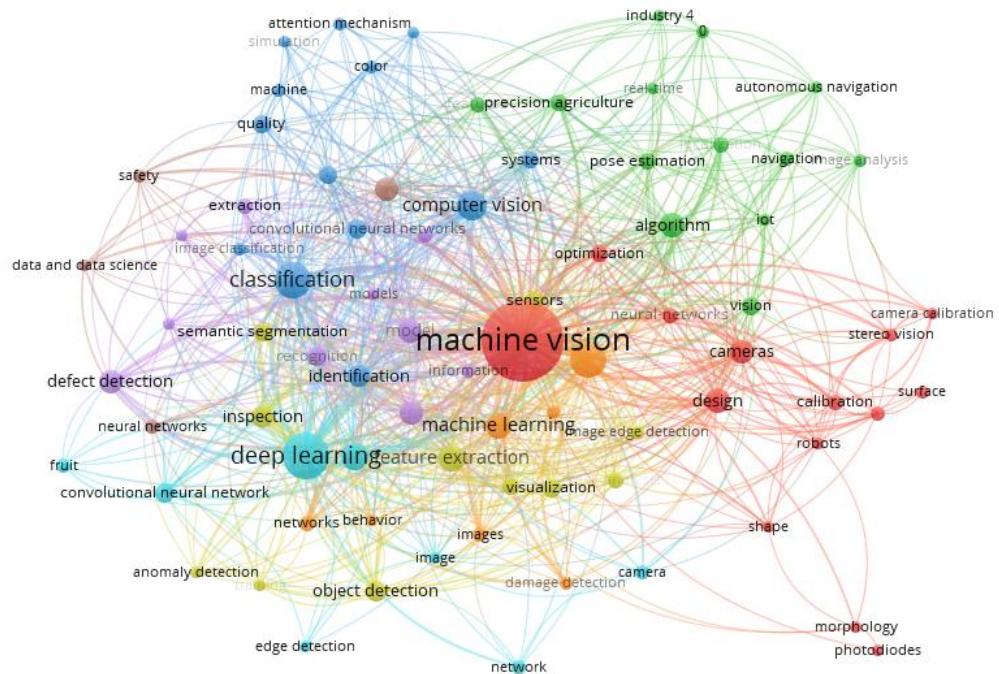
4. Aplicações de Visão Computacional evidenciadas na literatura

A seguir são apresentados os resultados da revisão bibliométrica (seção 4.1) e da revisão de literatura (seção 4.2).

4.1. Análise bibliométrica

A análise bibliométrica a seguir considera todos os 540 artigos identificados ao aplicar a string de busca na base de dados. Essa análise permite compreender, de forma quantitativa, o cenário em que a pesquisa está inserida. Os dados extraídos foram analisados no software VOSViewer. Um primeiro mapa, de palavras-chave, é apresentado na Figura 1 a seguir.

Figura 1 – Mapa de palavras-chave

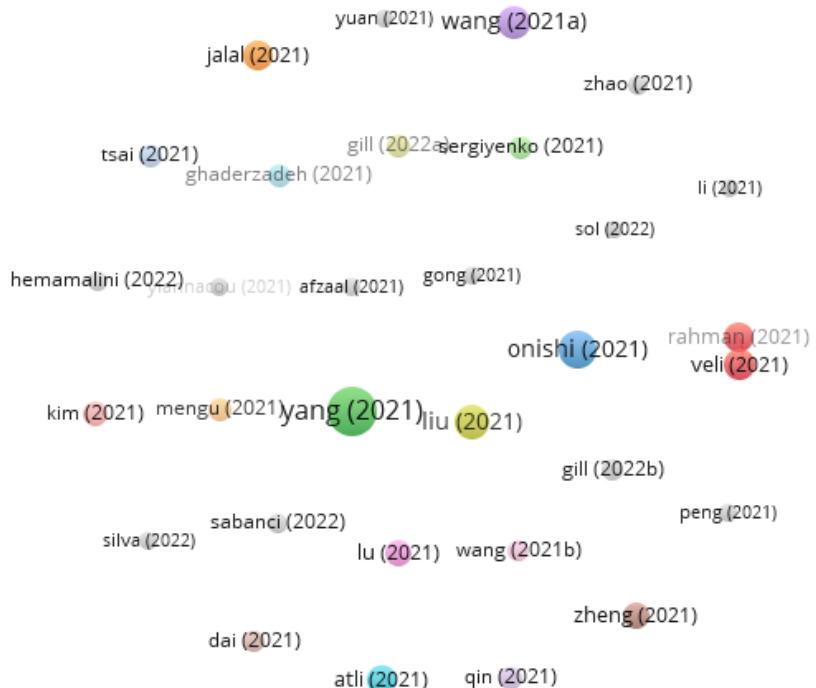


Fonte: Os autores (2022)

O termo *machine vision* é central no mapa, já esperado por conta da busca realizada. O relacionamento com deep learning, machine learning, redes neurais e ciência de dados aparece em destaque. Termos como algoritmos, câmeras, robôs, design e calibração indicam os requisitos e ferramentas para aplicação da visão computacional. Palavras como “imagem”, “detecção de objetos” estão em menor destaque, apesar de serem pontos fundamentais no estudo da visão computacional. Vale mencionar que algumas tendências de aplicação podem ser identificadas no mapa, como agricultura de precisão, navegação autônoma e detecção de defeitos.

Um outro mapa, apresentado na Figura 2, é o de quantidade de citações. Considerando no mínimo 10 citações, foram mapeados 31 diferentes trabalhos.

Figura 2 – Trabalhos por quantidade de citações

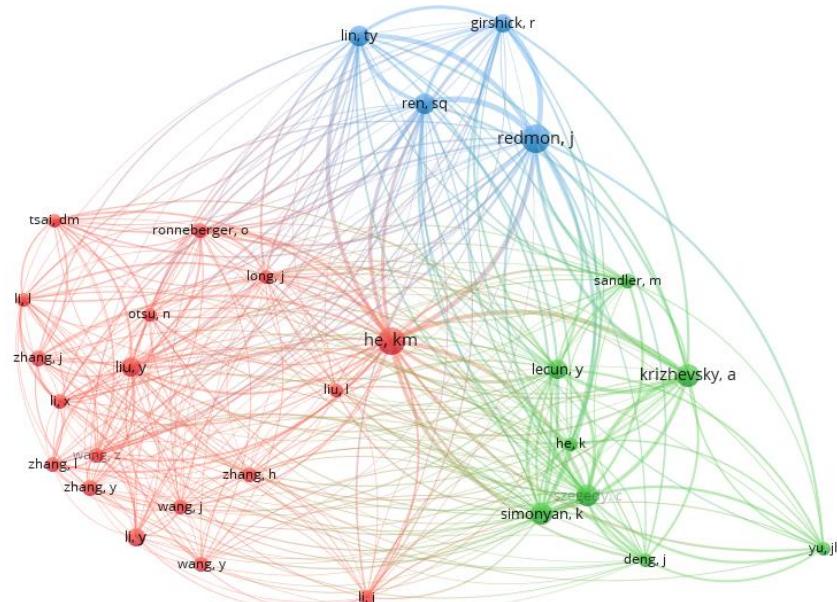


Fonte: Os autores (2022)

Nota-se que os trabalhos mais mencionados são do Yang (2021), que discute a aplicação da percepção visual em diversos campos industriais; do Onishi (2021), que analisa a identificação e mapeamento de árvores por meio de dados de sensoriamento remoto para aplicação no manejo florestal; e Liu (2021), que propõe um método de segmentação de imagens baseado em deep learning para segmentar as áreas-chave e processar máscaras de imagens minerais. De forma geral, não há um trabalho que tenha se destacado mais do que outros e não há um autor de referência no tema.

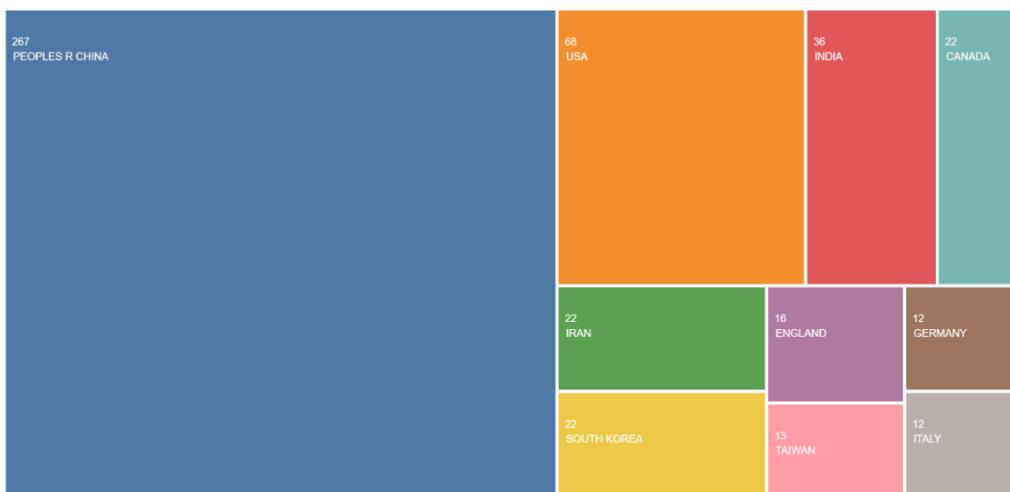
A Figura 3 abaixo apresenta uma rede de co-citação e a figura 4 a quantidade de publicações por países.

Figura 3 – Rede de co-citação



Fonte: Os autores (2022)

Figura 4 - Quantidade de publicações por países



Fonte: Os autores (2022)

Dos trabalhos mais citados, apenas o do Liu (2021) aparece na rede de cocitação. O mapa de cocitações não trouxe muitas conexões, mostrando mais uma vez que as pesquisas na área estão caminhando de forma independente. Comparando os mapas, nota-se que os trabalhos mais citados são provenientes do país com o maior número de pesquisas na área, que é a China. Na sequência dos países mais atuantes na área temos Estados Unidos e Índia, o que indica que são países que estão investindo em soluções em Inteligência Artificial.

4.2. Análise dos artigos selecionados para leitura

Os artigos selecionados para leitura foram avaliados com relação ao campo de aplicação da visão computacional, quais as ferramentas usadas para viabilizar o uso da tecnologia, além dos benefícios percebidos ao adotá-la na solução estudada. A Tabela 1 a seguir sintetiza os achados de cada artigo.

Tabela 1 – Síntese dos artigos selecionados para o presente estudo

Autores	Campo de aplicação	Softwares e hardwares usados	Benefícios do uso
(LIU et al., 2021)	Mineralogia (classificação de minerais)	Câmera industrial, sensor de vibração, iluminação especial	O sistema de segmentação de imagem mineral baseado em aprendizado profundo pode efetivamente completar a segmentação de imagem de partículas de minério.
(ONISHI; ISE, 2021)	Engenharia florestal (monitoramento de árvores)	Sensores e câmeras com captação espectral; softwares ArcGIS e eCognition; pack PyTorch v0.4.1.	O baixo custo e fácil uso dos equipamentos pode permitir o monitoramento periódico das árvores. O sistema alcançou uma precisão de mais de 90% para classificar tipos de árvores.
(RAHMAN et al., 2021)	Física (redes ópticas)	Uso classificadores D ² NN. Para rodá-los: Duas unidades de processamento gráfico GTX 1080 Ti, unidades de processamento central Intel® Core™ i7-8700 (CPUs, Intel Inc.) e 64 GB de RAM, executando Windows 10.	Constituem as mais altas precisões de inferência alcançadas até o momento por qualquer projeto de rede neural óptica difrativa no mesmo conjunto de dados.
(KIM et al., 2021)	Agricultura (robôs autônomos para cultivo)	As imagens foram adquiridas usando câmeras orientadas com fundo estável, e a região de interesse (ROI) em cada trabalho foi pré-determinada usando GPS ou marcadores. Uma câmera de visão estéreo binocular (Tara USB 3.0 Stereo Vision Camera, e-con Systems, Índia) foi usada para adquirir imagens de corte com correspondência estéreo.	A abordagem foi testada em cinco cultivos, e os resultados mostraram que o sistema pode detectar a região do corte alvo mesmo quando os objetos se sobreponem nas imagens adquiridas. Além disso, as alturas das culturas estimadas com o sistema desenvolvido mostraram forte concordância com as alturas reais das culturas medidas manualmente.
(GILL et al., 2022)	Agricultura – horticultura (identificação de frutas)	Convolutional Neural Network (CNN) é usado para extrair os recursos da imagem. Long Short-Term Memory (LSTM) é usado para classificar os frutos com base nos recursos das imagens extraídas e selecionadas por CNN. Cada imagem de tamanho 512 × 512 é utilizada com a ajuda do software MATLAB para fins de classificação.	Em termos de precisão e análise de coeficiente de correlação, esse método de classificação supera os algoritmos atuais de classificação de imagens para o propósito do estudo.

(GHADERZADE H et al., 2021) Medicina (verificação de resultados de exames)	<p>Foi proposto um modelo de última geração baseado em um extrator de recursos NASNet CNN. Com base no modelo proposto, foi projetado um sistema de detecção auxiliado por computador (CAD). O sistema de computador tinha uma CPU Intel Core i7 7700K, 32 GB de RAM e um acelerador de GPU Nvidia T4.</p>	<p>O desempenho do modelo proposto alcançou uma sensibilidade de detecção, especificidade e precisão de 0,999, 0,986 e 0,996, respectivamente. O uso de um sistema CAD como ferramenta de triagem acelera a detecção de doenças e evitaria a perda de recursos de saúde.</p>
(WANG et al., 2021) Aquicultura (alimentação inteligente para peixes)	<p>Câmeras, sensores, alimentador automático, bomba de água. Auxílio de CNN e RNN nas análises.</p>	<p>Tecnologia promissora, mas o ambiente aquático é bastante complexo. A confiabilidade e a vida útil dos sensores, a robustez e precisão dos modelos de análise e tomada de decisão, a confiabilidade da transmissão de dados baseada na tecnologia IoT e a eficiência da cooperação entre vários equipamentos inteligentes de aquicultura também precisam ser melhor resolvidas.</p>
(HEMAMALINI et al., 2022) Alimentação (inspeção de qualidade de alimentos)	<p>O algoritmo de agrupamento K-means é usado para segmentar as imagens. O estágio a seguir utiliza métodos de aprendizado de máquina, como K-nearest neighbors (KNN), Support Vector Machine (SVM) e C4.5 para classificar fotos de frutas. Não foram fornecidos detalhes das câmeras e capacidade de processamento das máquinas.</p>	<p>Três fatores são considerados em um estudo comparativo: acurácia, especificidade e sensibilidade. A precisão do SVM é maior do que nunca e está melhorando.</p>
(SABANCI et al., 2021) Horticultura (classificação de sementes de pimentas)	<p>As imagens de sementes foram digitalizadas com a resolução de 800 dpi. O formato TIFF foi selecionado durante o processo de salvamento. Não foram fornecidos detalhes de câmera e capacidade de processamento das máquinas.</p>	<p>As acurárias na primeira aproximação foram de 98,05% e 97,07% para ResNet50 e ResNet18, respectivamente. O uso da visão computacional otimiza o processo, evitando a mistura de diferentes sementes de pimenta com diferentes atributos para processamento.</p>
(PENG et al., 2021) Unisagem (desgaste de ferramentas em fresadoras)	<p>A parte de hardware inclui câmera industrial CCD In-Sight 5403, fonte de luz de anel LED P/N 119-2043R e controlador de fonte de luz PD2-5024 produzido pela Cognex dos EUA, lente industrial CF25HA-1 produzida pela Fujinon do Japão. A parte do software é o Cognex In-Sight explorer.</p>	<p>A automação do monitoramento foi alcançada. O uso do método de morfologia binária melhorou a qualidade da imagem, resultando na percepção de arestas de desgaste da ferramenta lisas e complexas.</p>

Fonte: Os autores (2022)

Os trabalhos selecionados percorrem diferentes campos, o que mostra a ampla aplicabilidade da visão computacional. A maioria das análises ainda é feita em ambiente laboratorial, mas os resultados alcançados são bons e implementáveis na realidade. Os artigos com aplicação no mundo real são os que fizeram a melhor descrição dos componentes de hardware e software. Ao analisar os hardwares e softwares utilizados, verifica-se que os processadores e placas não são das mais potentes que existem no mercado. Um fator importante é ter memória suficiente para armazenar um grande volume de imagens, principalmente se houver alta qualidade.

Verifica-se que os artigos buscam mesclar diferentes algoritmos para tentar otimizar a solução proposta. Nos artigos levantados, essa mescla se mostrou positiva, trazendo, de acordo com os autores, resultados superiores a outros que foram investigados na literatura.

Um exemplo interessante de como os artigos estão descrevendo as suas soluções está no trabalho de Wang et al. (2021), onde os autores elaboraram um esquema que apresentava os componentes da solução e o relacionamento entre as partes. Esse caso é o mais complexo dentre todos os artigos selecionados. O trabalho em ambiente aquático é bastante complexo e os equipamentos precisam ser todos adaptados ou já criados para suportar características diferenciadas. Todos os demais artigos elaboraram esquemas similares e apresentaram resultados em figuras.

Vale destacar que vários estudos que estão dentre os mais citados, na busca realizada, não apresentam aplicações práticas. São discussões sobre como otimizar o reconhecimento de imagens, as plataformas necessárias para operar a visão computacional, propostas de algoritmos e análises sobre a funcionalidade de algoritmos existentes para diversos fins. A literatura acadêmica em visão computacional ainda se encontra em um campo teórico e com grande foco em performances laboratoriais. Bengio, Lecun e Hinton (2021) já haviam alertado sobre as dificuldades de se sair do ambiente laboratorial para o real, e essa questão é válida até os dias de hoje.

5. Considerações finais

O presente trabalho teve o objetivo de elucidar como a visão computacional está sendo aplicada na indústria, de acordo com a literatura científica. A revisão de literatura forneceu exemplos práticos que percorrem diversos campos: agricultura, medicina, horticultura, usinagem, mineralogia, entre outros. As máquinas necessárias para realizar a avaliação das imagens não exigem alta capacidade de processamento, o que torna mais barata a adoção de soluções que utilizem visão computacional nas indústrias. Um ponto central no desenvolvimento da visão

computacional é a escolha de um algoritmo de aprendizagem adequado. Alguns estudos trazem exemplos de como mesclar diferentes algoritmos existentes de forma a melhorar a confiabilidade do processo. Para qualquer solução proposta, é preciso ter capacidade de memória disponível para armazenar e processar grandes volumes de dados.

Como oportunidade de pesquisa, é possível aumentar a quantidade de artigos analisados, por meio de uma revisão sistemática de literatura, ampliando ainda mais a compreensão do cenário em que o estudo está inserido. Apesar de exigir um esforço bem maior, por conta da quantidade de artigos a serem analisados, um panorama completo será demonstrado. Uma revisão bibliométrica com outros tipos de análises também pode contribuir para o campo. Além disso, a mesma análise feita nesse estudo pode ser reproduzida para outras tecnologias que são tendência no escopo da Inteligência Artificial. Por fim, trabalhos que mostrem a aplicação das tecnologias na prática e em ambientes reais são fundamentais para auxiliar as organizações na transição para uma gestão imersa em tecnologia.

6. Agradecimentos

Ao programa Samsung Ocean pelo apoio na realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

BENGIO, Y.; LECUN, Y.; HINTON, G. **Deep Learning for AI**. Turing Lecture, 2021.

BUCHANAN, B. G. **A (Very) Brief History of Artificial Intelligence** Bruce G. Buchanan. AI Magazine, v. 26 (4), 2006.

CONNOLLY, C. **Machine vision advances and applications**. Assembly Automation, v. 29 (2), p. 106-111, 2009.

DAVIES, E. R. **Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities**. Ed. Elsevier, 3^a Ed., 2004.

EISENHARDT, K. M.; GRAEBNER, M. E. **Theory building from cases: Opportunities and challenges**. Academy of Management Journal, v. 50, n. 1, p. 25–32, 2007.

EUCHNER, J. **Little ai, Big AI—Good AI, Bad AI**. Research-Technology Management, V. 62 (3), p. 10-12, 2019.

GEPHART, R. (2004). **From the editors: Qualitative Research and the Academy of Management Journal.** Academy of Management Journal, 47(4), 454-462.

GHADERZADEH, M.; ASADI, F.; JAFARI, R.; BASHASH, D.; ABOLGHASEMI, H.; ARIA, M. **Deep Convolutional Neural Network-Based Computer-Aided Detection System for COVID-19 Using Multiple Lung Scans: Design and Implementation Study.** Journal of Medical Internet Research, v. 23 (4), 2021.

GILL, H. S.; KHALAF, O. I.; ALOTAIBI, Y.; ALGHAMDI, S.; ALASSERY, F. **Fruit Image Classification Using Deep Learning.** Computers, Materials and Continua, v. 71 (3), 2022.

GOLNABI, H.; ASADPOUR, A. **Design and application of industrial machine vision systems.** Robotic Computers Integration Manufacturing, 23 (2007) 630–637.

HEMAMALINI, V.; RAJARAJESWARI, S.; NACHIYAPPAN, S.; SAMBATH M.; DEVI, T.; SINGH, B. K.; RAGHUVANSHI, A. **Food Quality Inspection and Grading Using Efficient Image Segmentation and Machine Learning-Based System.** Journal of Food quality, 2022.

HUIN, S. F.; LUONG, L. H. S.; ABHARY, K. **Knowledge-based tool for planning of enterprise resources in ASEAN SMEs.** Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, v. 19, p. 409–414, 2003.

KIM, W. S.; LEE, D. H.; KIM, T.; CHOI, C. H. **Stereo-vision-based crop height estimation for agricultural robots.** Computer and Electronics in Agriculture, v. 181, 2021.

KINNELL, P.; RYMER, T.; HODGSON J.; JUSTHAM, L.; JACKSON, M. **Autonomous metrology for robot mounted 3D vision systems.** CIRP Annals - Manufacturing Technology, 66 (2017) 483–486.

KRÜGER, J.; NGUYEN, T. D. **Automated vision-based live ergonomics analysis in assembly operations.** CIRP Annals - Manufacturing Technology, 64 (2015) 9–12.

LIMA JÚNIOR, E. B.; OLIVEIRA, G. S.; SANTOS, A. D. C.; SCHNEKENBERG, G. F. **Análise documental como percurso metodológico na pesquisa qualitativa.** Cadernos da Fucamp, v. 20 (44), p. 36-51, 2021.

LIU, Y.; ZHANG, Z.; LIU X.; WANG L.; XIA X. **Efficient image segmentation based on deep learning for mineral image classification.** Advanced Powder Technology, v. 32, p. 3885–3903, 2021.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas.** São Paulo, SP. Editora Pedagógica e Universitária, 1986.

MCCARTHY, J. (2007). **What is Artificial Intelligence?** Stanford, CA, USA: Computer Science Department, Stanford University, 12 November 2007. <http://jmc.stanford.edu/articles/whatisai/whatisai.pdf>

MCCULLOCH, W. S.; PITTS, W. **A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity.** The bulletin of mathematical biophysics, v. 5(4), p. 115-133, 1943.

MIN, H. **Artificial intelligence in supply chain management: Theory and applications.** International Journal of Logistics Research Applications, v. 13, p. 13–39, 2010

ONISHI, M.; ISE, T. **Explainable identification and mapping of trees using UAV RGB image and deep learning.** Nature – Scientific Reports, 11:903, 2021.

PENG, R.; LIU, J.; FU, X.; LIU, C.; ZHAO, L. **Application of machine vision method in tool wear monitoring.** The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v.116, p. 1357-1372, 2021.

RAHMAN, M. S. S.; LI, J.; MENGU, D.; RIVENSON, Y.; OZCAN, A. **Ensemble learning of diffractive optical networks.** Light: Science & Applications, v. 10 (14), 2021

SABANCI, K.; ASLAN, M. F.; ROPELEWSKA, E.; UNLERSEN, M. F. **A convolutional neural network-based comparative study for pepper seed classification: Analysis of selected deep features with support vector machine.** Journal of Food Process Engineering, v. 45, 2022.

SAUNDERS, M., LEWIS, P.; THORNHILL, A. **Research methods for business students.** 7. ed., Harlow: Pearson Education, 2016

STEGER, C.; ULRICH, M.; WIEDEMANN, C. **Machine Vision: Algorithms and Applications.** Ed. John Wiley and Sons, 516p., 2017.

STURM, T.; GERLACH, J. P.; PUMPLUN, L.; MESBAH, N.; PETERS, F.; TAUCHERT, C.; NAN, N.; BUXMANN, P. **Coordinating Human And Machine Learning For Effective Organizational Learning.** MIS Quarterly, V. 45 (3), p. 1581-1602, 2021.

WANG, C.; LI, Z.; WANG, T.; XU, X.; LI, D. **Intelligent fish farm—the future of aquaculture.** Aquaculture International, v. 29, p. 2681–2711, 2021.

ZANCUL, E., MARTINS, H. O., LOPES, F. P., SILVA NETO, F. A. T. V. **Machine Vision applications in a Learning Factory.** 10th Conference on Learning Factories. Procedia Manufacturing 45 (2020) 516–521