

SISTEMA INTELIGENTE PARA MONITORAMENTO DE CONVERSÃO DE VENDAS NO VAREJO FÍSICO COM VISÃO COMPUTACIONAL, IoT E INTEGRAÇÃO A PLATAFORMA PDV

VINICIUS DOBKE GASPAR DA SILVA¹; AMANDA DUARTE²; EDUARDA VIEIRA DA COSTA³; KAROLAINÉ MAIA⁴; NATALIA BRANDÃO⁵; GLADIMIR CERONI CATARINO⁶

¹*Centro Universitário Senac RS campus Pelotas – vinicius.d.gaspar@gmail.com*

²*Centro Universitário Senac RS campus Pelotas – amandaduart33@gmail.com*

³*Centro Universitário Senac RS campus Pelotas – eduardavieiradacosta@gmail.com*

⁴*Centro Universitário Senac RS campus Pelotas – karolainepinzmaia@gmail.com*

⁵*Centro Universitário Senac RS campus Pelotas – nataliabrandao688@gmail.com*

⁶*Centro Universitário Senac RS campus Pelotas – gladimir@gmail.com*

1. INTRODUÇÃO

O setor varejista enfrenta desafios crescentes relacionados à eficiência operacional e à gestão inteligente de recursos (ADŽEMOVIĆ, 2025). Um dos principais obstáculos é a falta de ferramentas precisas para monitoramento do fluxo de clientes e sua correlação com dados de vendas, dificultando a alocação estratégica de recursos e resultando em desperdícios operacionais.

Nesse contexto, a adoção de tecnologias como visão computacional e Internet das Coisas (IoT) surge como alternativa promissora para transformar a gestão no varejo físico. Essas soluções viabilizam o reconhecimento automatizado de entradas de clientes e o cruzamento inteligente com dados transacionais, otimizando a tomada de decisão (CARVALHO, JUNIOR e NASCIMENTO, 2025). Além disso, permitem análise aprofundada do comportamento do consumidor, possibilitando personalização de serviços e aprimoramento da experiência do cliente (AYOOLA, OSAM-NUNOO e UMEAKU, 2024), promovendo maior produtividade e sustentabilidade (RUKUNDO, WANG, *et al.*, 2025).

Este artigo apresenta os primeiros resultados de um sistema inteligente para monitoramento da conversão de vendas no varejo físico, baseado em visão computacional, IoT e integração com plataformas de ponto de venda (PDV). A proposta visa contribuir com soluções livres e replicáveis para o setor, com foco em acessibilidade tecnológica e inovação aberta.

2. METODOLOGIA

A metodologia deste projeto foi estruturada em duas frentes complementares: a condução técnico-científica realizada pelos docentes pesquisadores, responsáveis pelo planejamento, acompanhamento e validação dos resultados, e a atuação de dois discentes de graduação, que executam a implementação prática do sistema, promovendo a integração entre teoria acadêmica e inovação tecnológica. A abordagem adotada é exploratório-aplicada, com métodos qualitativos e quantitativos, empregando técnicas de engenharia de software, aprendizado de máquina e visão computacional. A solução desenvolvida visa integrar modelos de detecção de pessoas (YOLOv6/v11n) com dados de vendas oriundos da plataforma PDV, permitindo a correlação entre fluxo de clientes e conversão de vendas no varejo físico (HOSSAM, RAMADAN, *et al.*, 2024). O desenvolvimento é organizado em quatro fases iterativas. A primeira fase aborda

planejamento e levantamento de requisitos, incluindo estudo do estado da arte, definição tecnológica e análise de sistemas similares. Em seguida, a segunda fase executa a prototipação e define a arquitetura de software, com destaque para modelagem de casos de uso e inicialização do repositório GitLab. A terceira fase visa a construção do MVP (Mínimo Produto Viável), incorporando reconhecimento de entrada, integração via arquivos CSV e lógica para exclusão de funcionários e acompanhantes por meio de dispositivos IoT. Finalmente, a quarta fase objetiva testes em ambiente real, envolvendo a coleta de dados de uma loja piloto, a validação da acurácia do sistema e a análise do impacto nas operações de venda, além de incorporar o feedback qualitativo de usuários finais como gerentes e vendedores.

A arquitetura deste projeto foi concebida sob princípios de reprodutibilidade e abertura, utilizando exclusivamente tecnologias abertas (como YOLO, Arduino e MQTT) e padrões documentados publicamente. Todo o design, incluindo fluxos de processamento, protocolos de integração e critérios de validação, é replicável por terceiros sem dependência de componentes proprietários. Essa abordagem garante que a solução possa ser reconstruída ou adaptada livremente pela comunidade, alinhando-se aos objetivos de democratização tecnológica do software livre e hardware aberto.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os primeiros experimentos resultaram na construção de modelos de aprendizado de máquina baseados em redes neurais convolucionais para detecção de pessoas em ambientes de varejo físico. A escolha inicial do YOLOv6 (You Only Look Once version 6) foi fundamentada em revisão bibliográfica sistemática e testes comparativos preliminares (TAN, LIU, *et al.*, 2024), demonstrando desempenho superior em acurácia e velocidade de inferência. O projeto expandiu para incluir o YOLOv11, com documentação completa desenvolvida para garantir reprodutibilidade e futuras pesquisas.

Os modelos experimentais RIVAC-CV-1 foram desenvolvidos e testados em ambientes simulados com diferentes resoluções, variações de iluminação e densidade de pessoas. Testes comparativos entre YOLOv6 e YOLOv11 demonstraram que o YOLOv11 apresenta melhorias consideráveis na precisão, especialmente em cenários de baixa luminosidade. Os resultados validaram a capacidade dos modelos para detecção da classe "pessoa" e definição adequada do ROI para contagem de entradas/saídas (Figura 1).

A análise de performance demonstrou latência inferior a 5 ms por imagem, atendendo os requisitos de monitoramento contínuo em tempo real. A solução foi estruturada em arquitetura modular contemplando ingestão de dados, detecção, rastreamento, definição de ROI, contagem e visualização de resultados. Os experimentos validam a viabilidade técnica do YOLO para aplicações de monitoramento em varejo, atendendo requisitos de acurácia e tempo de resposta para condições reais (SYED TALHA BUKHARI, NAVEED e ABBAS, 2021).



Figura 1 - Processamento RIVAC-CV-1 Ambiente Simulado

Para o sistema RIVAC-IoT-1, foi desenvolvido modelo de identificação automatizada via RFID, empregando etiquetas passivas (ISO/IEC 14443A) com módulos RC522 e PN532 (13,56 MHz) e microcontroladores ESP32-C3 e Arduino UNO R3. O desenvolvimento contempla mapeamento de ações por tipo de tag e lógica de filtragem para cálculo preciso da taxa de conversão. Foi estabelecido protocolo de dados para correlacionar eventos de detecção visual (RIVAC-CV) e identificação RFID (RIVAC-IoT-1), formando sistema híbrido de monitoramento.

A estratégia seguiu desenvolvimento escalonado, partindo de simulação virtual para protótipo físico. Os resultados indicam potencial significativo do módulo RIVAC-IoT-1 como camada complementar de rastreamento inteligente. A combinação entre rastreamento RFID e análise por visão computacional permite maior acurácia na exclusão de entradas irrelevantes, otimizando o cálculo da taxa de conversão em ambientes de varejo físico.

4. CONCLUSÕES

Este projeto tem como objetivo o desenvolvimento e implementação de um sistema inteligente de monitoramento de conversão de vendas no varejo físico, através do uso de visão computacional para realizar o reconhecimento automático da entrada de clientes em estabelecimentos comerciais. Em fases subsequentes este projeto será integrado com IoT como guard-rail para garantir maior exatidão das informações obtidas.

Juntamente da implementação do sistema desenvolvido, este projeto também realizará o estudo do impacto dessa tecnologia no setor do comércio, além de validar os modelos usados no contexto comercial e discriminar maneiras de superar ou contornar quaisquer adversidades encontradas (ŠTOFKOVÁ, BAJZA, *et al.*, 2024).

Concluimos, portanto, que este projeto é de suma importância para o setor comercial pois, através de compreensões estratégicas fornecidas por Visão Computacional e IoT, ele melhorará não só a eficiência operacional, otimizando a tomada de decisões e o desempenho do ponto de venda, bem como permitirá uma

análise mais aprofundada do comportamento do consumidor, possibilitando uma melhor experiência do cliente, por meio de personalização de serviços e qualificação do atendimento (PATEL, 2024).

Além de ser relevante para o setor da tecnologia, uma vez que as características identificadas por este projeto podem impulsionar não só o descobrimento e popularização de tecnologias aptas para o nicho do projeto, juntamente do eventual desenvolvimento de novas tecnologias úteis não só para o setor comercial, da mesma forma para os demais setores.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADŽEMOVIĆ, M. Deep Learning-Based Multi-Object Tracking: A Comprehensive Survey from Foundations to State-of-the-Art. arxiv, 2025. Acessado em Maio de 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2506.13457>
- AYOOLA, V. B.; OSAM-NUNOO, G.; UMEAKU, C. IoT-driven Smart Warehouses with Computer Vision for Enhancing Inventory Accuracy and Reducing Discrepancies in Automated Systems. Researchgate, 2024. Acessado em Junho de 2025. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/386110610_IoT-driven_Smart_Warehouses_with_Computer_Vision_for_Enhancing_Inventory_Accuracy_and_Reducing_Discrepancies_in_Automated_Systems
- CARVALHO, G. H. A. D.; JUNIOR, E. M. V.; NASCIMENTO, F. A. VIGILÂNCIA INTELIGENTE EM LOJAS COM VISÃO COMPUTACIONAL E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL. Revistaft, 2025. Acesso em Julho 2025 Disponível em: <https://revistaft.com.br/vigilancia-inteligente-em-lojas-com-visao-computacional-e-inteligencia-artificial/>.
- HOSSAM, A. et al. Revolutionizing Retail Analytics: Advancing Inventory and Customer Insight with AI. arxiv, 2024. Acesso em Junho 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2405.00023>.
- KANJULA, K. R. et al. People counting system for retail analytics using edge AI. arxiv, 2022. Acesso em Junho 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2205.13020>.
- PATEL, S. ROLE OF COMPUTER VISION IN RETAIL STORES. Researchgate, 2024. Acesso em Junho 2025. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/385777137_ROLE_OF_COMPUTER_VISION_IN_RETAIL_STORES.
- RUKUNDO, S. et al. A Survey of Challenges and Sensing Technologies in Autonomous Retail Systems. arxiv, 2025. Acesso em Junho 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2503.07997>.
- ŠTOFKOVÁ, K. R. et al. Proposal of innovative smart solutions for retail store in order to support competitiveness and sustainable development. Frontiers, 2024. Acesso em Junho 2025. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/computer-science/articles/10.3389/fcomp.2024.1328913/full>.
- SYED TALHA BUKHARI, A. W. A.; NAVEED, M. A.; ABBAS, M. R. ARC: A Vision-based Automatic Retail Checkout System. arxiv, 2021. Acesso em Junho 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2104.02832>.
- TAN, L. et al. Enhanced Self-Checkout System for Retail Based on Improved YOLOv10. arxiv, 2024. Acesso em Junho 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2407.21308>.