

# PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE VISÃO COMPUTACIONAL PARA MONITORAMENTO DE VAGAS DE ESTACIONAMENTO

João Vitor Alves Rocha<sup>1</sup>, Sérgio Coral<sup>2</sup>

## Resumo:

A presente pesquisa descreve o desenvolvimento de uma aplicação baseada em um algoritmo de inteligência artificial com visão computacional, voltada para o monitoramento em tempo real de vagas de estacionamento, a partir de câmeras de segurança, com visualização por meio de uma interface web. A solução é composta por três principais componentes: uma aplicação em Python utilizando o algoritmo de detecção de objetos YOLO (You Only Look Once), um serviço WebSocket em Python para disponibilização dos dados coletados, e uma interface web responsiva, acessível tanto por dispositivos móveis quanto por computadores. Os dados obtidos foram armazenados em formato JSON, evitando o uso de um banco de dados, simplificando o sistema, pois as propriedades armazenadas se tratavam de uma identificação para as vagas e a situação desta, assim garantindo uma leitura e comunicação mais eficiente dos dados. A comunicação das informações com o front-end, foi feita por meio do framework Flask e do WebSocket, protocolo que permite comunicação bidirecional em tempo real, garantindo uma interface web atualizada com os dados atuais. Os testes demonstraram um bom desempenho do sistema, mesmo em condições diferentes de iluminação, destacando a robustez do modelo YOLO em cenários reais. O sistema mostrou-se viável, funcional e promissor para aplicações de monitoramento urbano automatizado.

**Palavras-chave:** visão computacional; inteligência artificial; YOLO; detecção de objetos; vagas de estacionamento.

---

<sup>1</sup>Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc), joavitor.alvesr@outlook.com

<sup>2</sup>Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc), sergiocoral@unesc.net

**ABSTRACT:** This research describes the development of an application based on an artificial intelligence algorithm with computer vision, aimed at real-time monitoring of parking spaces using security cameras, with visualization through a web interface. The solution consists of three main components: a Python application using the YOLO (You Only Look Once) object detection algorithm, a WebSocket service in Python for providing the collected data, and a responsive web interface accessible from both mobile devices and computers. The data obtained was stored in JSON format, avoiding the use of a database and simplifying the system, since the stored properties referred only to the identification of the parking spaces and their status, thus ensuring more efficient data reading and communication. Communication with the front-end was implemented using the Flask framework and WebSocket protocol, which enables real-time bidirectional communication, ensuring that the web interface stays updated with current data. Tests demonstrated good system performance even under different lighting conditions, highlighting the robustness of the YOLO model in real-world scenarios. The system proved to be viable, functional, and promising for automated urban monitoring applications.

**Keywords:** computer vision; artificial intelligence; YOLO; object detection; parking space detection.

## 1 INTRODUÇÃO

A pesquisa atual dá continuidade ao trabalho de conclusão de curso desenvolvido por Américo (2019), que se concentrou na identificação de vagas de estacionamento utilizando conceitos de inteligência artificial e técnicas de tratamento de imagens com visão computacional. O estudo de Américo (2019) abriu caminho para a exploração de novas abordagens, permitindo a implementação de um sistema avançado que usa inteligência artificial para detectar a ocupação das vagas e fornecer monitoramento em tempo real sobre a disponibilidade de estacionamento.

A alta demanda por vagas em estacionamentos, conforme descrito por Dsouza, Mohammed e Hussain (2017), tornou-se um problema significativo devido à dificuldade em encontrar vagas de forma ágil. Apesar do acesso facilitado às tecnologias atuais, poucos estacionamentos utilizam soluções inteligentes. Apenas grandes estabelecimentos, como o Morumbi Shopping em São Paulo, adotam tecnologias como sensores de LED para indicar a ocupação das vagas (Alhak, 2011).

O aumento do número de veículos nas ruas e o conseqüente congestionamento têm intensificado a procura por vagas de estacionamento, fazendo com que os motoristas circulem por longos períodos em busca de uma vaga (Bandeira et al., 2015).

Em Santa Catarina, que possui o maior número de carros por habitante no Brasil, com uma média de 1 carro para cada 1,4 habitantes (Gonçalves; Vasques; Hoinaski, 2019), o problema é ainda mais evidente. O congestionamento em estacionamentos resulta em consumo desnecessário de combustível e emissão de gases tóxicos, contribuindo para a poluição ambiental (Gonçalves; Vasques; Hoinaski, 2019). Além disso, o estresse e as dificuldades respiratórias causadas pela poluição, especialmente em ambientes mal ventilados, são preocupantes (Baroffio et al., 2015).

A ausência de tecnologias integradas e automatizadas em muitos estacionamentos requer a criação de mais espaços urbanos dedicados ao estacionamento. Segundo Anjos-Santos, Gamero e Gimenez (2014), esses espaços urbanos, que estão se tornando escassos, poderiam ser melhor utilizados para a infraestrutura de outras construções no mesmo contexto.

Esta pesquisa visa aplicar conceitos e ferramentas computacionais para solucionar a dificuldade e o tempo despendido na busca por vagas em estacionamentos. O objetivo é reduzir o estresse, a emissão de gases, o gasto de combustível desnecessário e o atraso, aproveitando as técnicas de IA (Inteligência Artificial) para otimizar o processo.

A tecnologia, amplamente acessível a todos, pode ser uma ferramenta poderosa para a melhoria de processos rotineiros. Muitas vezes, problemas que passam despercebidos têm impactos relevantes e causam barreiras para as pessoas. A busca por uma vaga de estacionamento é um exemplo claro, onde a tecnologia pode ser aplicada para transformar a experiência utilizando smartphones e soluções baseadas em IA.

Estudos indicam que o Brasil apresenta uma média de 5 horas de uso de celular por dia, com um aumento contínuo desse número. Aplicativos de redes sociais e entretenimento dominam esse uso (g1, 2022). Contudo, se explorada adequadamente, a tecnologia pode ser utilizada de forma eficiente para resolver problemas cotidianos. A implementação de sistemas baseados em IA pode demonstrar o lado prático e funcional da tecnologia, oferecendo soluções inovadoras e relevantes.

Câmeras de segurança são comumente usadas em locais de grande fluxo para garantir segurança e registrar ocorrências (Silva; Oliveira,

2007). No entanto, a integração de câmeras com sistemas inteligentes de monitoramento, combinada com a inteligência artificial, oferece um avanço considerável. A IA pode analisar as imagens capturadas para identificar vagas de estacionamento disponíveis com precisão, processar essas informações em tempo real e apresentá-las de forma clara e acessível aos usuários.

Existem diversas abordagens na literatura que tratam do problema de vagas em estacionamentos, incluindo a disponibilização de vagas particulares para aluguel por meio de aplicativos (Bertazzi, 2019). No entanto, a proposta deste trabalho vai além, ao utilizar a inteligência artificial para aprimorar a eficiência dos sistemas de monitoramento. A IA permite uma análise mais robusta e precisa das imagens, melhorando a detecção e a disponibilização de informações sobre vagas em tempo real.

A implementação de um sistema que integra câmeras com IA pode trazer benefícios importantes tanto para os estabelecimentos quanto para os clientes. Para os estabelecimentos, a tecnologia pode resultar em aumento da clientela, redução de custos operacionais e otimização do uso do espaço. Para os clientes, a solução proporciona uma redução no tempo gasto para encontrar vagas, diminuição de congestionamentos e um processo mais ágil e eficiente.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema inteligente que utiliza câmeras e IA para determinar a disponibilidade de vagas em estacionamentos. O sistema processa imagens em tempo real, permitindo a visualização das vagas disponíveis por meio de uma página web, acessível por meio de celulares e computadores. A inclusão da inteligência artificial não só aumenta a relevância computacional da proposta, mas também proporciona uma solução mais eficaz e inovadora para o problema identificado.

Além do objetivo geral já mencionado, a pesquisa também se alinha a uma série de objetivos específicos, que são: estudar os conceitos fundamentais de inteligência artificial e processamento de imagens; aprender a utilizar a biblioteca OpenCV em conjunto com o algoritmo YOLO para o tratamento de imagens em Python; compreender o processamento computacional de imagens e suas aplicações; projetar e implementar um protótipo inicial para o reconhecimento da disponibilidade de vagas de estacionamento; desenvolver, em Python, uma ferramenta completa capaz de identificar vagas ocupadas; e, por fim, testar e analisar os resultados obtidos, avaliando a viabilidade do sistema e sua eficiência na detecção da

ocupação das vagas.

A proposta desta pesquisa se alinha com estudos anteriores que exploram técnicas e desenvolvem sistemas para a identificação de vagas de estacionamento. Um dos principais trabalhos de referência é o TCC de Rafael Michels Américo, concluído em 2019 no curso de Ciência da Computação da UNESC (Universidade do Extremo Sul Catarinense). O objetivo foi desenvolver um protótipo para reconhecimento de vagas utilizando câmeras IP, a biblioteca OpenCV e técnicas de inteligência artificial. As imagens capturadas eram processadas em Python, e as informações disponibilizadas em um sistema web acessível por celular. Em testes com 1.968 amostras, realizados em oito vagas durante três dias, o sistema alcançou uma acurácia média de 95%.

Seguindo a mesma linha de aplicação de visão computacional, o TCC de João Vitor Esteves Gomes, concluído no curso de Sistemas de Informação da Universidade Federal de Ouro Preto, utilizou redes neurais convolucionais com o modelo YOLO para aplicar técnicas de detecção de objetos. O trabalho teve como foco analisar abordagens para detecção de objetos e comparar o desempenho das quatro últimas versões do YOLO. Foram realizados testes com 7.500 imagens do dataset COCO, incluindo um subconjunto de 100 imagens de 75 classes distintas.

Ambos os trabalhos reforçam a viabilidade do uso da visão computacional aliada à inteligência artificial no monitoramento de estacionamentos. Enquanto o estudo de Américo contribuiu com uma solução prática e funcional, o de Gomes ofereceu uma base comparativa sólida sobre modelos modernos de detecção. A presente pesquisa se apoia nessas contribuições para propor um sistema que combina o uso de câmeras com as versões mais eficientes do YOLO, visando maior precisão na detecção em tempo real e uma aplicação prática acessível via smartphones.

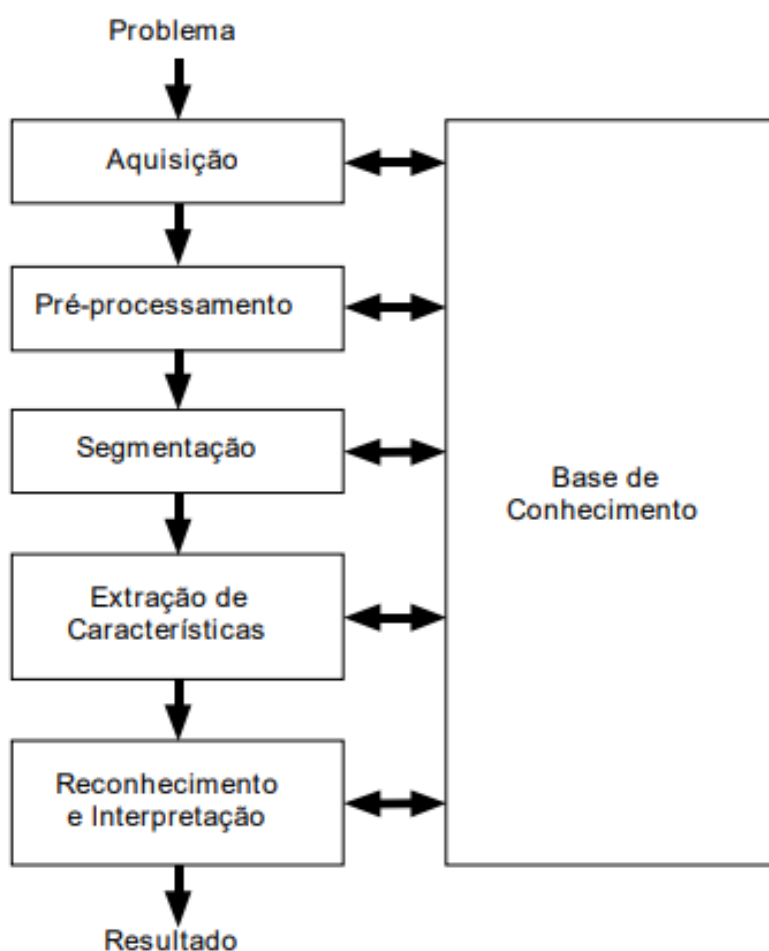
Inteligência artificial, popularmente conhecido pelas pessoas, decorrente das suas aplicações em diversas ferramentas utilizadas em diversas áreas, e também no dia a dia dos usuários. Trata-se de uma área computacional que se destaca e vem sendo alvo de investimentos que abordem as suas aplicações em melhorias e desenvolvimento de processos. O conceito é um ramo da ciência que estuda o desenvolvimento de sistemas capazes de funcionar em escopos nos quais a inteligência humana é comumente utilizada, como em raciocínios, tomada de decisões, aprendizados, pensamentos crítico e resolução de problemas (Júnior et al., 2024).

A utilização da inteligência artificial permite expandir e melhorar

a obtenção de dados e criar automações de processos em diversas áreas do conhecimento. Apesar dos resultados das análises feitas pelos algoritmos poderem apresentar erros e não serem completamente assertivos, podendo apresentar limitações em determinadas situações, é cabível citar um destaque na sua aplicação para a área de análise de imagens, que é possível se obter resultados satisfatórios com treinamentos em um curto período, e utilizando de subcampos da IA, a segmentação de imagens e a visão computacional, dedicados à interpretação de informações visuais (Ribeiro et al., 2024).

O processamento de imagens com visão computacional é estruturado em etapas, apresentadas na Figura 1, para ser possível obter o resultado a partir da conclusão dessas etapas (Jesus; Coelho; Silva, 2024).

Figura 1 - Principais etapas de um sistema de visão computacional



Fonte: Filho e Neto (1999).

A visão computacional trabalha com os conceitos de aprendi-

zado de máquina e processamento de imagens, criando um destaque em automações de processos, onde apresentam melhorias e otimizações em tarefas abordadas em várias áreas, analisando e interpretando dados visuais com intuito de garantir dados assertivos para a utilização destes em sistemas que automatizem e auxiliem na tomada de decisões (PEREIRA et al., 2024).

Segundo Valera et al. (2024) atualmente a visão computacional tem atingido um alto nível de desenvolvimento, ocasionando na disponibilidade de diversas bibliotecas, algoritmos especializados e frameworks que utilizam deste conceito, permitindo que pesquisadores e estudantes possam aplicar e explorar o seu uso nos diferentes campos do conhecimento, como em diagnósticos médicos (Supriadi; Himamunanto; Budiati, 2024), identificação de fósseis biológicos (Moreira, 2024), identificação de objetos (Liu et al., 2018), dentre várias outras possibilidades de estudos.

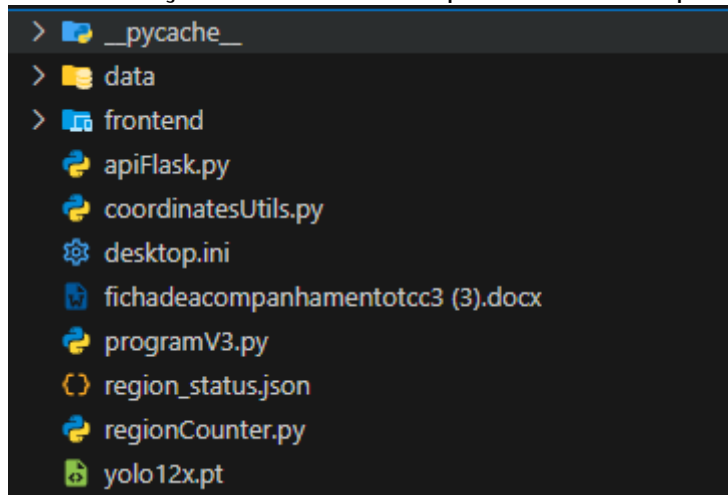
O YOLO (You Only Look Once) é um modelo de algoritmo utilizado na detecção de objetos em tempo real. Este algoritmo se destaca por sua abordagem única e velocidade superior na detecção de objetos em comparação a outros métodos como o R-CNN (Region-based Convolutional Neural Network), uma arquitetura de rede neural profunda projetada para detecção de objetos em imagens (Shafiee et al., 2017).

O YOLO inova no modo de tratar a imagem, onde é dividida em grade, em um único processamento, classificando cada célula formada pelas delimitações. Desta forma, se diferencia das redes de detecção por regiões, que segmentam partes da imagem, processando uma a uma, o que aumenta a complexidade e reduz a velocidade. O YOLO, portanto, processa a imagem inteira de uma vez, obtendo grande velocidade e precisão (Jiang et al., 2022).

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

Na presente pesquisa, foram construídos e desenvolvidos três sistemas integrados: um algoritmo de visão computacional; uma API de dados com conexão via WebSocket; e uma aplicação web com conexão via WebSocket ao back-end. Para isso, foram utilizadas linguagens de programação, bibliotecas utilitárias e algoritmos, com o objetivo de atingir as metas propostas no projeto, e a estrutura do sistema completo pode ser observada na Figura 2.

Figura 2 - Visualização da estrutura de pastas e dos arquivos criados



Fonte: Elaborado pelo autor.

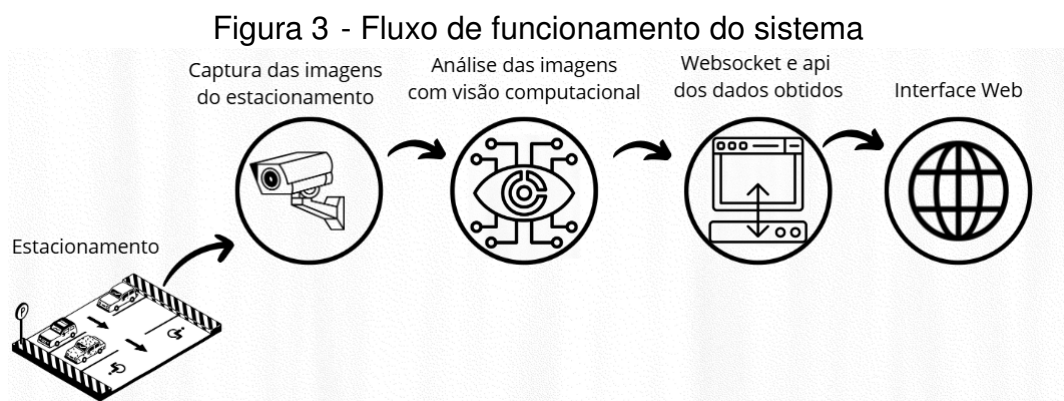
## 2.1 ARQUITETURA GERAL DO SISTEMA

O sistema foi desenvolvido em Python (versão 3.13.2), fazendo uso da biblioteca OpenCV (versão 4.11.0) para processamento de imagens e da plataforma Ultralytics, que fornece modelos pré-treinados para tarefas de visão computacional, como a detecção de objetos com o algoritmo YOLO.

A arquitetura geral é dividida em três módulos principais:

- **Módulo de Detecção de Objetos:** Responsável por capturar os quadros de vídeo e aplicar o modelo YOLO para identificar e classificar objetos de interesse. Esse módulo é otimizado para operar em tempo real, garantindo baixa latência na detecção.
- **Módulo de Processamento e Armazenamento:** Após a detecção, as informações relevantes, como a identificação do objeto, sua posição no quadro e a ocupação da vaga, são extraídas, processadas, armazenadas localmente e preparadas para envio em tempo real à interface web.
- **Módulo de Comunicação Web:** Para permitir a visualização remota dos dados, o sistema estabelece uma comunicação em tempo real com uma interface web por meio de WebSocket. Essa abordagem foi escolhida por sua capacidade de manter conexões persistentes, viabilizando a transmissão contínua de informações sem a necessidade de requisições repetitivas.

O fluxo de funcionamento, que pode ser visto na Figura 3, parte da entrada de vídeo (como uma câmera ou arquivo), passa pela detecção de objetos com YOLO, segue para o processamento e formatação das informações e, por fim, transmite os dados à interface web, onde podem ser visualizados pelo usuário.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 2.2 DESENVOLVIMENTO DO ALGORITMO DE VISÃO COMPUTACIONAL

Para realizar a detecção de veículos, foi utilizado a versão 12x do YOLO, acessada por meio da plataforma Ultralytics, sendo esta a última atualização do algoritmo, que entrega mais eficiência na detecção de objetos, em comparação com as versões anteriores. Pode-se observar a evolução da visão computacional dos modelos YOLO na Figura 4.

O YOLOv12 introduz melhorias significativas na eficiência e desempenho por meio de novos componentes. O mecanismo de atenção de área processa grandes regiões dividindo o mapa de características em partes menores, reduzindo o custo computacional. O R-ELAN aprimora a agregação de características com ligações residuais e uma estrutura otimizada. A arquitetura de atenção foi simplificada com técnicas como FlashAttention, remoção da codificação posicional, ajuste no MLP e uso de convoluções eficientes. O modelo oferece suporte a múltiplas tarefas de visão computacional (como detecção, segmentação e classificação) com alta precisão e menos parâmetros, além de ser facilmente implantável em diferentes ambientes, de dispositivos de borda à nuvem (Tian; Ye; Doermann, 2025b).

O modelo YOLOv12 possui diversos submodelos dentro dessa versão, cada um voltado para aplicações específicas, como detecção, seg-

Figura 4 - Comparação térmica entre YOLOs



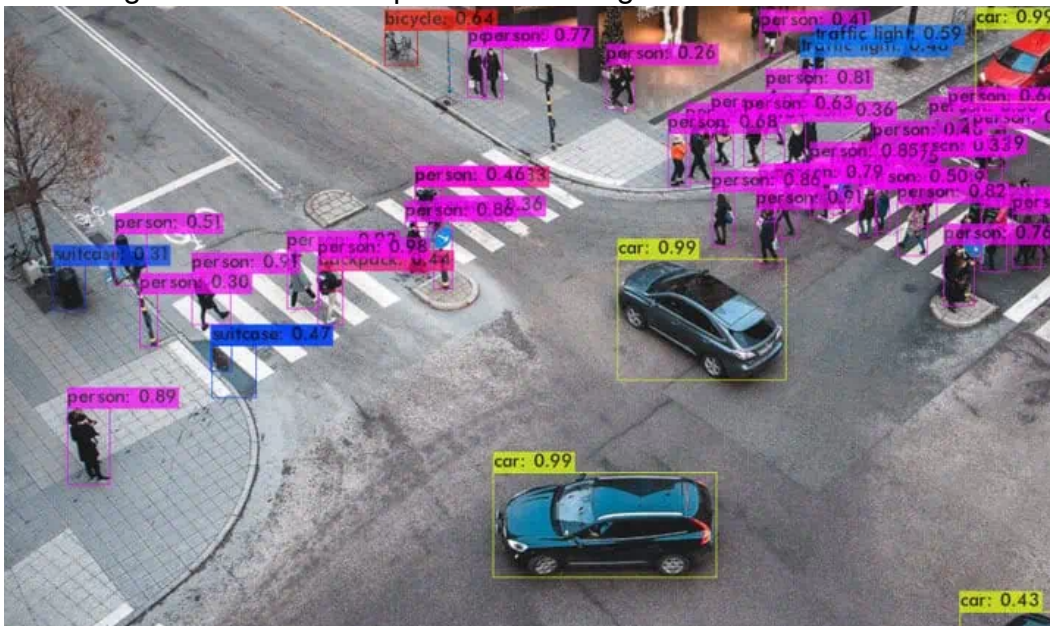
Fonte: Tian, Ye e Doermann (2025b).

mentação, estimativa de pose, classificação e OBB (Oriented Bounding Box). A variante utilizada nesta pesquisa foi a voltada para OBB, tecnicamente conhecida como YOLO12x, especializada na detecção de objetos com orientação. Essa abordagem utiliza técnicas de angulação para aumentar a precisão na visão computacional, sendo especialmente adequada ao contexto do presente projeto (Tian; Ye; Doermann, 2025a).

O submodelo pré-treinado utiliza caixas rotacionadas em sua operação, para se ajustar tamanho e ao e ângulo do objeto identificado, garantindo melhor enquadramento, e também apresenta uma etiqueta de identificação da classe do objeto assim como uma pontuação de confiança da detecção, que pode ser analisada na Figura 5.

Para direcionar o algoritmo às regiões de interesse, as vagas de estacionamento, e possibilitar a detecção de objetos da classe "carro", foram fornecidas ao YOLO as coordenadas (x, y) dessas vagas. As coordenadas foram extraídas das imagens capturadas pela câmera, utilizando a

Figura 5 - Visão computacional do algoritmo YOLOv12x-OBb



Fonte: Alves (2020).

ferramenta cv2.VideoCapture do OpenCV, que permite a captura de vídeo em tempo real. Com o auxílio de um código personalizado, foi possível registrar as coordenadas dos cliques nas delimitações das vagas dentro das imagens, permitindo a identificação precisa das localizações das vagas de estacionamento.

Essas coordenadas registradas foram então armazenadas no código e usadas como pontos de referência para o YOLO, atuando como regiões de foco para a detecção dos carros. Dessa forma, o modelo foi direcionado para analisar essas áreas específicas, garantindo maior precisão na identificação dos veículos nas vagas de estacionamento.

Para efetuar a entrada das coordenadas para o YOLO, foi empregada a função RegionCounter, disponibilizada pela própria biblioteca Ultralytics, que permite delimitar áreas de interesse por meio de coordenadas em cada quadro analisado. No entanto, a versão original da função retornava dados acumulativos, o que limitava sua aplicação prática. Para solucionar isso, foram realizadas modificações no código-fonte da função (por ser open source), adaptando-a para fornecer respostas binárias sobre a presença ou ausência de veículos em cada região demarcada.

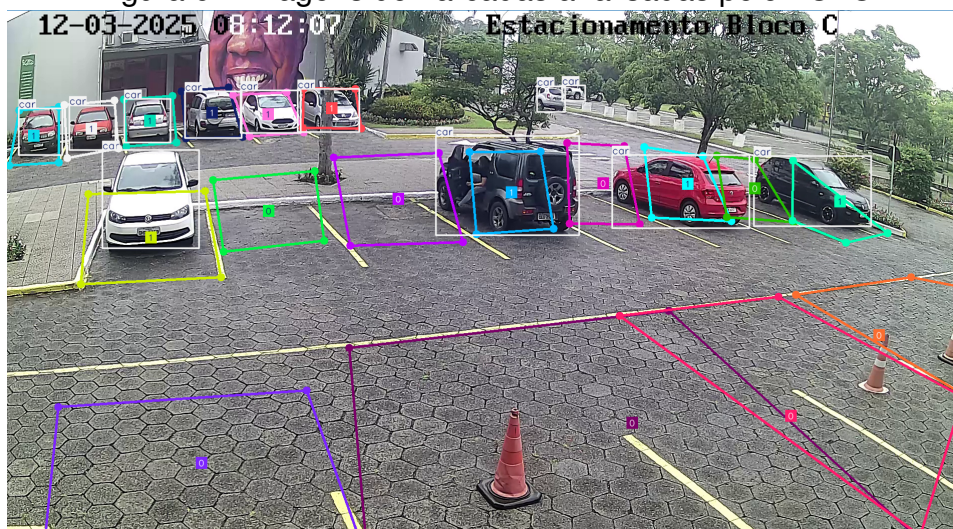
## 2.3 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

Para os testes do sistema, foram utilizadas gravações de câmeras de monitoramento da UNESC, disponibilizadas pelo setor de segurança

da universidade. Aplicando o YOLO nas imagens, foi possível coletar os dados necessários assim como as coordenadas das vagas a serem analisadas pelo algoritmo, conforme é visto na Figura 6. As informações extraídas das análises da IA foram armazenadas em formato JSON, contendo as propriedades de identificação única e a disponibilidade de cada vaga.

Durante o desenvolvimento do sistema, optou-se por não utilizar um banco de dados tradicional para armazenar a situação das vagas, tendo em vista que as informações são simples, apenas ID da vaga e disponibilidade desta, e por estas estarem em constante alteração. Neste contexto o arquivo JSON se mostrou mais prático e eficiente, permitindo leitura e escrita rápida, assim como facilidade de implementação.

Figura 6 - Imagens demarcadas analisadas pelo YOLO.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 2.4 DESENVOLVIMENTO DA API E COMUNICAÇÃO VIA WEBSOCKET

Na etapa seguinte, foi desenvolvido um segundo projeto visando criar um sistema de comunicação em tempo real via WebSocket, utilizando os dados contidos no arquivo JSON. Para isso, foi empregado o framework Flask em conjunto com a biblioteca SocketIO. Essa configuração permitiu monitorar as atualizações no arquivo JSON e transmitir as informações por meio de uma API à interface web da aplicação. O uso do WebSocket foi fundamental para manter uma conexão contínua entre front-end e back-end, assegurando que os dados exibidos na interface representassem fielmente os dados mais recentes fornecidos pela aplicação de visão computacional.

## 2.5 INTEGRAÇÃO COM INTERFACE WEB

A escolha de utilizar um sistema web responsivo traz diversas vantagens para o projeto, como a disponibilidade em dispositivos móveis e para computador, sem a necessidade de fazer um aplicativo separado para cada plataforma, e facilitando a manutenção e reduzindo custos. Além disso, a responsividade garante uma experiência de uso em dispositivos de diferentes tamanhos de tela, e o uso de tecnologias modernas como React.js e Tailwind.css agilizam o desenvolvimento.

Com o WebSocket em funcionamento, foi criada uma página web conectada diretamente ao serviço. Essa interface é responsável por apresentar visualmente as informações sobre a ocupação das vagas, atualizando-se automaticamente sempre que novos dados são recebidos da aplicação de visão computacional, e pode ser observada na Figura 7. A sincronização entre back-end e front-end garantiu uma experiência fluida e confiável para o monitoramento em tempo real.

## 2.6 COMPARATIVO COM TRABALHOS CORRELATOS

Um dos trabalhos analisados, feito por Américo (2019), utilizou o filtro de Laplace para detectar bordas nas imagens, com Firebase para armazenamento e HTML na interface. Embora funcional, essa abordagem depende de técnicas clássicas, mais sensíveis a variações de luz e ruído, e não emprega redes neurais. Em comparação, o sistema desenvolvido neste trabalho utiliza YOLO, um modelo moderno de detecção de objetos, que garante maior precisão e desempenho em tempo real.

Outro trabalho relevante é o de Lacerda (2016), que usou imagens captadas por drone e redes neurais para detectar vagas. Apesar da alta acurácia (99%) em testes com poucas imagens, o sistema depende de câmera posicionada a 90 graus e só funciona em áreas abertas, o que limita sua aplicação. O sistema atual, por outro lado, funciona com câmeras fixas de segurança, exige menos estrutura externa e oferece atualização contínua via WebSocket, tornando-se mais prático para uso urbano em tempo real.

## 3 DISCUSSÃO E RESULTADOS

A utilização do processamento de imagem com visão computacional proporcionou êxito na análise da ocupação de vagas de estacionamento, utilizando imagens das câmeras de segurança.

O algoritmo treinado utilizado, YOLOv12x, especializado em re-

Figura 7 - Aplicação web com visualização das vagas disponíveis



Fonte: Elaborado pelo autor.

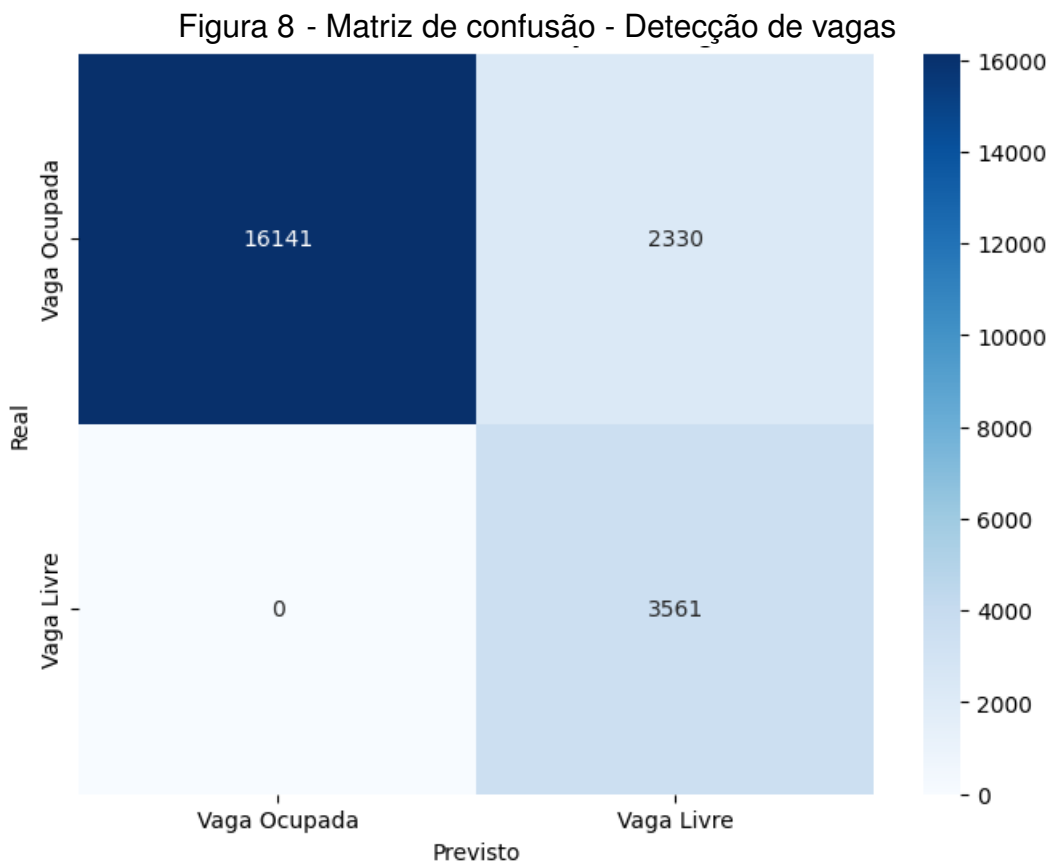
conhecimento de objetos cotidianos em imagens, se mostrou eficiente no contexto de um estacionamento, reconhecendo os carros de forma muito consistente.

Segundo os dados fornecidos pelo Ultralytics, o modelo do algoritmo pré-treinado, YOLOv12x, utilizado nesta pesquisa, alcança uma acurácia de 55,2%, medida pela métrica padrão usada para avaliar desempenho de modelos de detecção de objetos, chamada mAP@0.5:0.95 (mean Average Precision para IoU variando de 0,5 a 0,95). Esse resultado indica que o modelo apresenta uma boa precisão média, mesmo sob critérios de avaliação mais rigorosos. Esse desempenho também pôde ser observado nos testes realizados com as imagens capturadas pelas câmeras de segu-

rança da UNESCO.

O sistema de detecção de veículos e coleta de dados, com aplicação do algoritmo YOLO, foi testado durante os períodos da tarde e da noite, registrando chegadas e saídas de veículos no estacionamento. Observou-se que o algoritmo foi capaz de reconhecer corretamente os carros nas vagas delimitadas em todos os cenários avaliados.

Para os testes, foram utilizadas gravações que totalizaram 1 hora e 45 minutos da área do estacionamento, abrangendo 18 vagas localizadas a diferentes distâncias da câmera. A contabilização dos erros foi feita manualmente, a cada 5 segundos de vídeo, em todas as 18 vagas. Dessa forma, totalizaram-se 22.032 testes, dos quais 19.702 foram acertos e 2.330, falsos positivos, com zero falsos positivos, resultando em uma acurácia de 89,46% e uma precisão de 60,45%, como pode ser visto na matriz de confusão Figura 8.

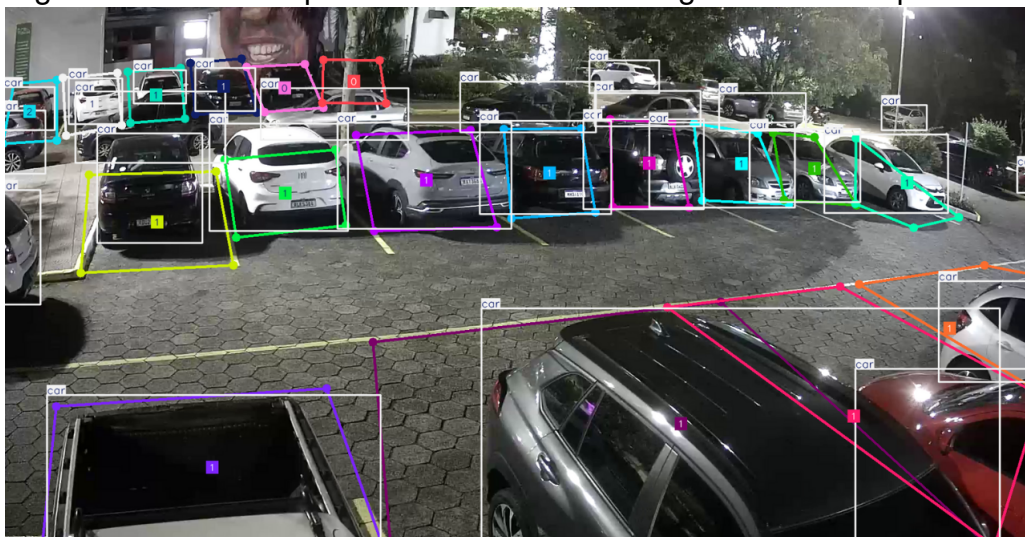


Fonte: Elaborado pelo autor.

No entanto, apesar do bom desempenho geral, foram identificadas falhas em situações específicas. Em alguns casos, veículos estavam estacionados fora das vagas regulares, posicionando-se à frente de outros

carros corretamente alocados. Essa obstrução prejudicou a visibilidade da vaga pelas câmeras de segurança, que pode ser visualizada na Figura 9, comprometendo a capacidade do algoritmo de identificar corretamente a ocupação e, conseqüentemente, a coleta precisa dos dados.

Figura 9 - Visão computacional noturna com vagas obstruídas por carros



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como proposta de solução para esse problema, sugere-se a implementação de uma fiscalização mais rigorosa quanto ao uso correto das vagas de estacionamento, além da instalação de câmeras em posições elevadas, preferencialmente com visão aérea, capazes de enquadrar todas as vagas de forma clara e ampla. Dessa forma, seria possível melhorar a cobertura visual e a precisão da detecção automática de ocupação.

A pesquisa de Américo (2019), também voltada à detecção de disponibilidade de vagas de estacionamento, aplica o filtro de Laplace, uma técnica de detecção de bordas baseada em processamento de imagem. Com essa abordagem, o autor obteve resultados satisfatórios, alcançando 95% de acurácia com imagens captadas por câmeras cobrindo oito vagas ao longo de três dias.

Em comparação, o trabalho de Américo (2019) apresentou resultados expressivos de acurácia com 1.968 testes realizados. No presente projeto, embora a acurácia tenha sido de 89,45%, destaca-se os 22.032 testes realizados, além da diferença na abordagem de reconhecimento adotada entre as duas pesquisas.

Vale ressaltar, ainda, que o algoritmo YOLOv12x, utilizado na atual pesquisa, foi treinado e validado com base no conjunto de dados

COCO, conforme Lin et al. (2015), que disponibiliza até vinte mil imagens para treinamento e trezentas mil para teste, distribuídas em três subconjuntos. Esse volume e a diversidade dos dados contribuem para a generalização e robustez do modelo.

Apesar da alta acurácia obtida com o método de Laplace, sua aplicação é mais sensível às condições do ambiente, especialmente variações de iluminação e presença de sombras. Além disso, sua simplicidade computacional é um ponto forte, permitindo execução em dispositivos com recursos limitados. Por outro lado, o YOLO, embora mais exigente em termos computacionais, demonstra maior robustez, sendo capaz de operar com maior confiabilidade em ambientes reais, inclusive sob condições adversas. Dessa forma, para sistemas de monitoramento em tempo real, o uso de redes neurais convolucionais se mostra mais apropriado.

#### **4 CONCLUSÃO**

A pesquisa alcançou com sucesso os objetivos propostos, demonstrando a viabilidade de um sistema de monitoramento de vagas baseado em visão computacional e comunicação em tempo real. A utilização do modelo YOLOv12, se mostrou eficaz e robusta, no contexto prático e urbano de um estacionamento, com câmeras fixas.

Uma aplicação web responsiva juntamente com o WebSocket, garantiram uma aplicação mais fluída e uma atualização em tempo real eficiente, assim como uma boa visualização das informações coletadas, por diversos tamanhos de dispositivos, acessando pela web, assim como a facilidade da manutenção do sistema.

Apesar de algumas limitações dos sistemas de reconhecimento de vagas, como a obstrução da visualização das mesmas, e a posição das câmeras que captaram as imagens, o sistema demonstrou qualidade no monitoramento do estacionamento, e no reconhecimento dos veículos estacionados.

Os objetivos propostos foram alcançados com êxito, demonstrando a capacidade da inteligência artificial, com visão computacional, por meio do algoritmo YOLO, de reconhecer objetos e integrar essas funcionalidades em ferramentas em tempo real e em contextos reais e urbanos.

Como trabalhos futuros, recomenda-se aprimorar a captação de imagens com posicionamento mais estratégico das câmeras e expandir o sistema para diferentes ambientes urbanos, aproveitando a flexibilidade da arquitetura proposta, assim como realizar uma pesquisa quanto a utilização

de câmeras móveis.

## REFERÊNCIAS

ALHAK, S. H. A. **Estacionamento inteligente**. 2011, Brasília. Acesso em: 20 abr. 2025. Disponível em: <<https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/123456789/3139>>.

ALVES, G. **Deteção de Objetos com YOLO – Uma abordagem moderna**. 2020. Acesso em: 5 maio de 2025. Disponível em: <<https://iaexpert.academy/2020/10/13/deteccao-de-objetos-com-yolo-uma-abordagem-moderna/>>.

AMÉRICO, R. M. **Controle de vagas de estacionamento a partir de tratamento de imagens em tempo real com a biblioteca opencv**. 2019. Acesso em: 3 de abr. de 2025. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/handle/1/8206>>.

ANJOS-SANTOS, L. M. d.; GAMERO, R.; GIMENEZ, T. N. **Letramentos digitais, interdisciplinaridade e aprendizagem de língua inglesa por alunos do ensino médio**. Trabalhos em Linguística Aplicada, 2014, SciELO Brasil, v. 53, p. 79–102.

BANDEIRA, T. B. et al. **Protótipo de estacionamento automatizado utilizando modelo computacional matricial e microcontrolador arduino**. Blucher Mathematical Proceedings, 2015, Blucher Proceedings, v. 1, n. 1, p. 817–824.

BAROFFIO, L. et al. **A visual sensor network for parking lot occupancy detection in smart cities**. 2015, IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT), p. 745–750.

BERTAZZI, G. L. **Desenvolvimento de um aplicativo móvel para monitoramento de vagas e estacionamentos em locais públicos e privados**. 2019, Universidade Federal de Uberlândia.

DSOUZA, K. B.; MOHAMMED, S.; HUSSAIN, Y. **Smart parking — an integrated solution for an urban setting**. 2017 2nd International Conference for Convergence in Technology (I2CT), 2017, p. 174–177.

FILHO, O. M.; NETO, H. V. **Processamento digital de imagens**. Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

G1. **Brasileiros são os que passam mais tempo por dia no celular, diz levantamento**. 2022. Acessado em: 21 de maio de 2024. Disponível em: <<https://g1.globo.com/tecnologia/noticia/2022/01/12/brasileiros-sao-os-que-passam-mais-tempo-por-dia-no-celular-diz-levantamento.ghtml>>.

GONÇALVES, A. L. A.; VASQUES, T. V.; HOINASKI, L. **x-008-primeiro inventário de emissões veiculares evaporativas no estado de santa catarina**. 2019, 30° congresso abes 2019, Santa Catarina.

JESUS, A. D. de; COELHO, R. d. S. V.; SILVA, W. A. da. **RECONHECIMENTO FACIAL PARA CONTROLE DE FREQUÊNCIA DE ALUNOS**. 2024.

JIANG, P. et al. **A review of yolo algorithm developments**. Procedia computer science, 2022, Elsevier, v. 199, p. 1066–1073.

JÚNIOR, J. F. C. et al. **A inteligência artificial como ferramenta de apoio à inclusão**. Cuadernos de Educación y Desarrollo, 2024, v. 16, n. 4, p. e4076–e4076.

LACERDA, V. d. A. **Detecção e monitoramento de vagas disponíveis em estacionamentos abertos através de processamento de imagens**. 2016, Tese de Doutorado. Universidade de Brasília.

LIN, T.-Y. et al. **Microsoft COCO: Common Objects in Context**. 2015. Acesso em: 17 de abr. de 2025. Disponível em: <<https://docs.ultralytics.com/pt/datasets/detect/coco/#sample-images-and-annotations>>.

LIU, C. et al. **Object detection based on yolo network**. 2018, 2018 IEEE 4th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC), p. 799–803.

MOREIRA, J. M. Q. **Desenvolvimento de modelo para reconhecimento e classificação por imagem de tipos de flocos formadores do lodo biológico utilizando rede neural convolucional-CNN**. 2024. Acesso em: 10 abr. de 2025. Disponível em: <<http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/6831>>.

PEREIRA, L. D. et al. **Desenvolvimento de um sistema de classificação de peças em ambiente industrial utilizando visão computacional e a arquitetura yolo**. 2024, Universidade Federal de Campina Grande.

RIBEIRO, H. M. C. et al. **Aplicação do opencv utilizando técnicas de visão computacional e segmentação de imagens para reconhecimento de colônias bacterianas em análises microbiológicas de qualidade de água**. Caderno Pedagógico, 2024, v. 21, n. 6, p. e4235–e4235.

SHAFIEE, M. J. et al. **Fast yolo: A fast you only look once system for real-time embedded object detection in video**. arXiv preprint arXiv:1709.05943, 2017.

SILVA, C. J.; OLIVEIRA, L. J. de. **Do monitoramento no ambiente de trabalho com a instalação de câmeras**. Revista do Direito Público, 2007, v. 2, n. 2, p. 91–114.

SUPRIADI, J.; HIMAMUNANTO, A. R.; BUDIATI, H. **Analisis performa metode yolo untuk deteksi hyperlipidemia berdasarkan klasifikasi citra corneal arcus**. Progresif: Jurnal Ilmiah Komputer, 2024, v. 20, n. 2.

TIAN, Y.; YE, Q.; DOERMANN, D. **Oriented bounding boxes object detection**. arXiv preprint arXiv:2502.12524, 2025.

TIAN, Y.; YE, Q.; DOERMANN, D. **Yolov12: Attention-centric real-time object detectors**. arXiv preprint arXiv:2502.12524, 2025.

VALERA, G. G. A. et al. **Extração de medidas corporais com visão computacional**. 2024. Acesso em: 27 de mar. de 2025. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/255767>>.