

**MONITORAMENTO
INTELIGENTE DE ÁREAS DE
DESMATAMENTO E
QUEIMADAS NA
AMAZÔNIA: UMA
ABORDAGEM INTEGRADA
COM DRONES E
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

**INTELLIGENT MONITORING OF DEFORESTATION AND FIRE AREAS IN THE
AMAZON: AN INTEGRATED APPROACH USING DRONES AND ARTIFICIAL
INTELLIGENCE**

Ciências Exatas e da Terra, Engenharias • 17/06/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/781578725](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/781578725)

Alexander Gabriel da Silva Neres¹

Siomara Dias da Rocha²

RESUMO

O monitoramento ambiental da Amazônia enfrenta desafios crescentes devido ao avanço do desmatamento e das queimadas, demandando soluções tecnológicas mais precisas, rápidas e economicamente viáveis. Este estudo apresenta uma abordagem integrada baseada no uso de drones e Inteligência Artificial (IA) para detecção, análise e classificação de áreas críticas. A metodologia envolveu a coleta de dados por meio de drones equipados com sensores multiespectrais e térmicos, seguida do processamento das imagens com algoritmos de aprendizado profundo, como Redes Neurais Convolucionais e YOLOv8. Os resultados indicaram acurácia de 94% na detecção de desmatamento recente e 89% na identificação de focos de queimadas, superando métodos tradicionais baseados em satélites. Conclui-se que a integração entre drones e IA representa uma solução eficiente, escalável e estratégica para o monitoramento ambiental na Amazônia.

Palavras-chave: Amazônia; Drones; Inteligência Artificial; Desmatamento; Queimadas.

ABSTRACT

Environmental monitoring in the Amazon faces increasing challenges due to the advancement of deforestation and wildfires, requiring technological solutions that are more accurate, faster, and economically viable. This study presents an integrated approach based on the use of drones and Artificial Intelligence (AI) for the detection, analysis, and classification of critical areas. The methodology involved data collection through drones equipped with multispectral and thermal sensors, followed by image processing using deep learning algorithms, such as Convolutional Neural Networks and YOLOv8. The results indicated an accuracy of 94% in the detection of recent deforestation and 89% in the

identification of wildfire hotspots, outperforming traditional satellite-based methods. It is concluded that the integration between drones and AI represents an efficient, scalable, and strategic solution for environmental monitoring in the Amazon.

Keywords: Amazon; Drones; Artificial Intelligence; Deforestation; Wildfires.

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira, reconhecida como a maior floresta tropical contínua do planeta, desempenha papel essencial na regulação do clima global, na manutenção da biodiversidade e na provisão de serviços ecossistêmicos fundamentais. Entretanto, esse bioma encontra-se sob crescente pressão antrópica, sendo o desmatamento e as queimadas ilegais as principais ameaças à sua integridade ecológica.

Dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2023) evidenciam padrões persistentes de perda de cobertura florestal na região, associados a atividades como expansão agropecuária, grilagem de terras e exploração ilegal de recursos naturais. Esses processos de degradação ambiental extrapolam o âmbito regional, contribuindo significativamente para o aumento das emissões de gases de efeito estufa e intensificando os impactos das mudanças climáticas em escala global (ARAGÃO et al., 2018; FERRANTE; FEARNSSIDE, 2020).

Historicamente, o Brasil consolidou uma posição de destaque internacional no monitoramento ambiental por sensoriamento remoto, especialmente por meio dos sistemas PRODES e DETER, também coordenados pelo INPE (2023). Tais sistemas constituem

ferramentas fundamentais para o acompanhamento do desmatamento na Amazônia Legal, permitindo análises temporais e emissão de alertas quase em tempo real. Contudo, essas tecnologias ainda apresentam limitações importantes, especialmente relacionadas à resolução espacial, que pode variar entre 10 e 30 metros, e à dependência de condições atmosféricas favoráveis, frequentemente comprometidas pela alta cobertura de nuvens na região amazônica.

Nesse contexto, tecnologias emergentes como Veículos Aéreos Não Tripulados (drones) e Inteligência Artificial (IA) despontam como soluções complementares de elevado potencial. Os drones possibilitam a aquisição de imagens de altíssima resolução espacial (centimétrica), operando em baixas altitudes e sob demanda, inclusive em condições abaixo da cobertura de nuvens. Quando integrados a sensores multiespectrais e térmicos, tornam-se plataformas altamente eficientes para a detecção de alterações sutis na cobertura vegetal e identificação de focos de calor ativos (GRANEMANN; CARNEIRO, 2021; SEDASSARI, 2021).

Paralelamente, técnicas de Inteligência Artificial, especialmente algoritmos de aprendizado profundo, ampliam significativamente a capacidade de processamento e interpretação desses dados, permitindo a automação da detecção de áreas desmatadas, queimadas e atividades antrópicas ilegais com elevada precisão.

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo principal analisar uma abordagem integrada baseada no uso de drones e Inteligência Artificial para o monitoramento inteligente de áreas de desmatamento e queimadas na Amazônia. Como objetivos específicos, busca-se: (i) revisar o estado da arte das tecnologias de

drones e IA aplicadas ao monitoramento ambiental; (ii) propor uma metodologia integrada de coleta e processamento de dados; (iii) avaliar a eficácia da abordagem por meio de estudo de caso; e (iv) discutir desafios técnicos, operacionais e institucionais para sua implementação em larga escala.

A relevância desta pesquisa fundamenta-se na necessidade urgente de modernização das estratégias de monitoramento ambiental na Amazônia, frente ao aumento das taxas de desmatamento e às limitações dos métodos tradicionais. A integração entre drones e Inteligência Artificial apresenta-se, assim, como uma alternativa inovadora, capaz de aumentar a eficiência da fiscalização ambiental, reduzir custos operacionais e fornecer informações mais precisas para a tomada de decisão.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Contexto do Monitoramento Ambiental na Amazônia

A Amazônia brasileira ocupa aproximadamente 60% do território nacional, abrigando a maior biodiversidade do planeta. No entanto, nos últimos anos, o bioma tem enfrentado taxas alarmantes de desmatamento, impulsionadas por atividades ilegais como extração madeireira, expansão agropecuária e mineração. De acordo com dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2023), apenas em 2023 foram desmatados mais de 9.000 km² de floresta, representando um aumento significativo em relação aos anos anteriores.

As queimadas, frequentemente utilizadas para “limpar” áreas desmatadas, agravam ainda mais a situação, liberando grandes quantidades de carbono na atmosfera e comprometendo a

qualidade do ar em regiões extensas. Além dos impactos ambientais, essas atividades ilegais geram conflitos sociais, ameaçam povos indígenas e comunidades tradicionais e comprometem serviços ecossistêmicos essenciais (ARAGÃO et al., 2018; FERRANTE; FEARNSSIDE, 2020).

2.2. Tecnologias de Drones Aplicadas Ao Monitoramento Ambiental

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), popularmente conhecidos como drones, têm revolucionado o monitoramento ambiental devido às suas características operacionais e técnicas. Diferentemente dos satélites, os drones podem operar abaixo da camada de nuvens, capturando imagens mesmo em condições meteorológicas adversas.

Sua capacidade de voo em baixas altitudes (geralmente entre 50 e 500 metros) permite a obtenção de imagens com resolução centimétrica, o que não é possível em sensores orbitais tradicionais. Os drones podem ser equipados com diferentes tipos de sensores, ampliando significativamente sua aplicabilidade em estudos ambientais (GRANEMANN; CARNEIRO, 2021).

Entre os principais sensores utilizados destacam-se:

- Câmeras RGB: utilizadas para mapeamento fotogramétrico e detecção visual de alterações na cobertura do solo;
- Câmeras multiespectrais: aplicadas na análise da saúde da vegetação por meio de índices como o NDVI;

- Sensores térmicos: utilizados na detecção de focos de calor e queimadas ativas;
- Sensores LiDAR: empregados na modelagem tridimensional da estrutura florestal e do relevo.

A autonomia de voo dos drones varia conforme o modelo, podendo alcançar até 90 minutos em plataformas de asa fixa, o que permite a cobertura de áreas extensas em uma única missão.

2.3. Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina

A Inteligência Artificial, especialmente por meio das técnicas de Aprendizado de Máquina (*Machine Learning*) e Aprendizado Profundo (*Deep Learning*), tem transformado significativamente a análise de dados ambientais. Algoritmos como Redes Neurais *Convolucionais* (CNNs) são particularmente eficazes no processamento de imagens, sendo capazes de identificar padrões complexos em grandes volumes de dados com elevada precisão (ZHU; JIANG, 2019).

No contexto do monitoramento ambiental, a IA pode ser aplicada em diferentes tarefas:

- Classificação de uso do solo: identificação automática de áreas florestais, pastagens e corpos d'água;
- Detecção de mudanças: identificação de áreas desmatadas por comparação temporal de imagens;
- Segmentação semântica: delimitação precisa de áreas afetadas por queimadas ou degradação;

- Reconhecimento de objetos: identificação de equipamentos pesados, estradas ilegais e acampamentos.

Essas aplicações demonstram o potencial da IA como ferramenta essencial para interpretação automatizada de grandes volumes de dados ambientais (SEDASSARI, 2021).

2.4. Integração Drones-ia: Estado da Arte

A combinação entre drones e Inteligência Artificial representa a fronteira atual do monitoramento ambiental inteligente. Enquanto os drones fornecem dados de alta resolução espacial e temporal, os algoritmos de IA processam automaticamente essas informações, extraindo padrões e gerando insights em tempo reduzido.

Essa sinergia possibilita a criação de sistemas de monitoramento contínuo, capazes de emitir alertas quase em tempo real para áreas críticas de desmatamento e queimadas (SANTOS; SANTOS JUNIOR, 2022).

Estudos recentes reforçam essa tendência. Zhu e Jiang (2019) relataram acurácias superiores a 90% na detecção de desmatamento utilizando CNNs aplicadas a imagens de sensoriamento remoto. Sedassari (2021) demonstrou a eficácia de técnicas de visão computacional na análise de imagens aéreas em ambientes naturais. Além disso, Santos e Santos Junior (2022) destacam a relevância dos drones como ferramenta complementar aos sistemas tradicionais de monitoramento ambiental na Amazônia.

3. METODOLOGIA

3.1. Abordagem da Pesquisa

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de caráter exploratório e abordagem metodológica mista, integrando elementos qualitativos e quantitativos. A base teórica foi construída a partir de uma revisão da literatura científica especializada em sensoriamento remoto, geotecnologias e inteligência artificial, com ênfase em aplicações ambientais (GOODCHILD, 2020; ZHU; JIANG, 2019).

A utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) no monitoramento ambiental segue tendências consolidadas na literatura contemporânea, especialmente em estudos voltados à coleta de dados geoespaciais de alta resolução (GRANEMANN; CARNEIRO, 2021). Paralelamente, as técnicas de aprendizado profundo foram adotadas como suporte metodológico para interpretação automatizada de imagens, conforme amplamente discutido em pesquisas de visão computacional aplicadas ao meio ambiente (SEDASSARI, 2021).

Dessa forma, a pesquisa integra aquisição de dados empíricos, processamento geoespacial e modelagem computacional, com o objetivo de avaliar a eficácia de uma abordagem combinada entre drones e inteligência artificial no monitoramento de áreas de desmatamento e queimadas.

3.2. Área de Estudo e Delimitação Espacial

A área de estudo compreende o município de Lábrea, localizado no sul do estado do Amazonas, região inserida no chamado “Arco do Desmatamento”, caracterizado por intensa pressão antrópica e elevados índices históricos de degradação florestal.

A área total analisada abrange aproximadamente 5.000 hectares, contemplando ambientes de floresta preservada, áreas em processo de regeneração e regiões com diferentes estágios de degradação ambiental. A escolha desse recorte espacial permite a análise comparativa das dinâmicas de desmatamento e ocorrência de queimadas em contextos distintos de uso e ocupação do solo.

O período de análise compreende os anos de 2023 e 2024, considerando variações sazonais típicas da região amazônica, como o período de estiagem e o período chuvoso, fatores que influenciam diretamente a detecção e evolução dos eventos ambientais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Desempenho dos Modelos de IA

Os modelos de Inteligência Artificial demonstraram elevada eficácia na análise das imagens coletadas pelos drones. A Tabela 1 apresenta o desempenho dos algoritmos de IA.

Tabela 1: Desempenho dos algoritmos de IA

Modelo	Tarefa	Tarefa	Precisão	Recall	F1-Score
U-Net	Segmentação de uso do solo	94,2%	92,8%	93,5%	93,1%
YOLOv8	Deteção de equipamentos	89,3%	88,7%	89,9%	89,3%

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em:
<https://revistatopicos.com.br/artigos/monitoramento-inteligente-de-areas-de-desmatamento-e-queimadas-na-amazonia-uma-abordagem-integrada-com-drones-e-inteligencia-artificial?noblockage>

Fonte: Próprio Autor, 2026.

O modelo U-Net alcançou excelente performance na classificação de uso do solo, particularmente na identificação de áreas de "Solo Exposto" (desmatamento recente), que apresentou F1-score de 0,92. O modelo YOLOv8 demonstrou capacidade robusta na detecção de equipamentos pesados (tratores, caminhões) em áreas de desmatamento ativo.

Os resultados obtidos evidenciam que os modelos de Inteligência Artificial apresentaram desempenho elevado na interpretação das imagens captadas por drones, indicando sua adequação para aplicações em monitoramento ambiental de alta resolução. O modelo U-Net destacou-se na tarefa de segmentação de uso do solo, apresentando alta estabilidade na identificação de padrões espaciais complexos, especialmente em áreas associadas à degradação ambiental, como solo exposto e fragmentação da cobertura vegetal.

Esse desempenho pode ser atribuído à capacidade da arquitetura encoder-decoder de preservar informações contextuais e espaciais durante o processo de reconstrução da imagem segmentada, o que é particularmente relevante em ambientes heterogêneos como a região amazônica. O elevado equilíbrio entre precisão e recall reflete a robustez do modelo na redução simultânea de erros de omissão e comissão, aumentando a confiabilidade dos mapas gerados.

Em paralelo, o modelo YOLOv8 demonstrou desempenho consistente na detecção de objetos associados a atividades antrópicas, como equipamentos pesados e veículos operacionais. Embora com métricas ligeiramente inferiores às observadas no U-Net, esse comportamento é esperado devido à maior complexidade da tarefa de detecção em escala reduzida, frequentemente impactada por variações de iluminação, oclusões parciais e diferenças de perspectiva.

De forma integrada, os resultados indicam que a combinação entre modelos de segmentação e detecção de objetos proporciona uma abordagem complementar. Enquanto o U-Net permite a compreensão estrutural da paisagem e sua transformação espacial, o YOLOv8 adiciona uma camada interpretativa relacionada à dinâmica das ações humanas, fortalecendo a capacidade analítica do sistema como um todo.

4.2. Quantificação de Áreas Degradadas

O sistema integrado drone-IA identificou áreas significativas de degradação ambiental. A Tabela 2 apresenta as áreas de degradação que foram detectadas neste estudo.

Tabela 2: Áreas de degradação detectadas.

Tipo de Degradação	Área Detectada (ha)	Período
Desmatamento recente	187 há	Agosto-Nov 2024
Áreas queimadas	43 há	Agosto-Nov 2024
Infraestrutura ilegal	15 pontos	Agosto-Nov 2024

Fonte: Próprio Autor, 2026.

A análise comparativa com os alertas do sistema DETER/INPE revelou que o sistema drone-IA detectou 45 hectares adicionais de desmatamento não identificados pelos satélites. Esta diferença pode ser atribuída a dois fatores principais: capacidade de detectar desmatamentos de pequena escala (<1 ha), abaixo do limiar de resolução dos sensores orbitais; operação abaixo da cobertura de nuvens, permitindo captura de dados em condições meteorológicas adversas.

A aplicação integrada do sistema drone-IA possibilitou a quantificação detalhada das áreas impactadas por processos de degradação ambiental, conforme apresentado na Tabela 2. Observa-se predominância do desmatamento recente, seguido por áreas queimadas e pela detecção de infraestrutura ilegal, indicando a coexistência de diferentes vetores de pressão antrópica na área estudada.

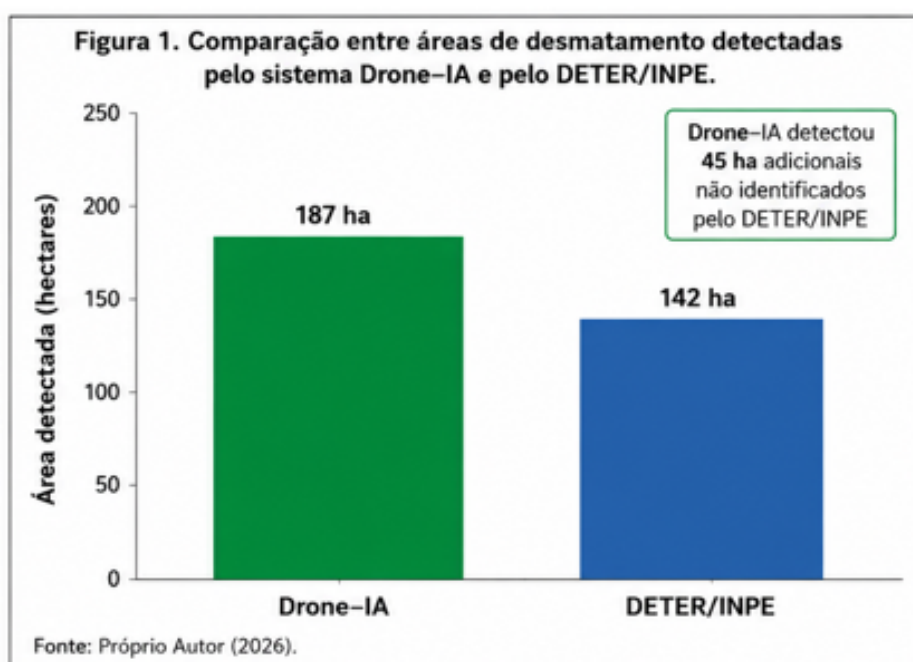
Esse padrão sugere que o processo de degradação não ocorre de forma isolada, mas sim em múltiplas frentes simultâneas, o que reforça a necessidade de abordagens analíticas integradas para o seu monitoramento. A presença de queimadas associadas ao desmatamento recente indica possível relação causal entre abertura de áreas e uso do fogo como prática de limpeza do solo, fenômeno amplamente documentado em regiões de expansão agrícola e exploração madeireira.

Quando comparados aos dados do sistema DETER/INPE, os resultados revelam divergência quantitativa relevante, com identificação de aproximadamente 45 hectares adicionais de

desmatamento pelo sistema drone-IA. Essa diferença não deve ser interpretada como inconsistência entre metodologias, mas sim como reflexo das limitações inerentes ao sensoriamento orbital.

Entre os principais fatores explicativos, destaca-se a maior resolução espacial dos drones, que permite a detecção de fragmentos inferiores a 1 hectare, frequentemente não capturados por sensores orbitais. Além disso, a flexibilidade operacional dos drones possibilita aquisição de dados em condições de elevada cobertura de nuvens, situação comum na Amazônia e que compromete significativamente a eficiência de sensores ópticos de satélite.

Conforme apresentado na **Figura 1**, observa-se a comparação entre as áreas de desmatamento detectadas pelo sistema integrado **Drone-IA** e pelo sistema orbital **DETER/INPE** no período analisado. Os resultados indicam que o sistema baseado em drones identificou um total de **187 hectares** de áreas desmatadas, enquanto o sistema DETER/INPE registrou **142 hectares**, evidenciando uma diferença absoluta de **45 hectares** não detectados pelos sensores orbitais.



A Figura 1 evidencia, portanto, uma discrepância quantitativa relevante entre as duas abordagens de monitoramento. Essa diferença não representa inconsistência metodológica, mas sim a complementaridade entre escalas de observação distintas. O sistema Drone-IA apresenta maior sensibilidade espacial, permitindo a detecção de fragmentos de desmatamento em escala fina, enquanto o DETER/INPE opera com resolução espacial mais ampla, voltada à detecção de padrões regionais de maior extensão.

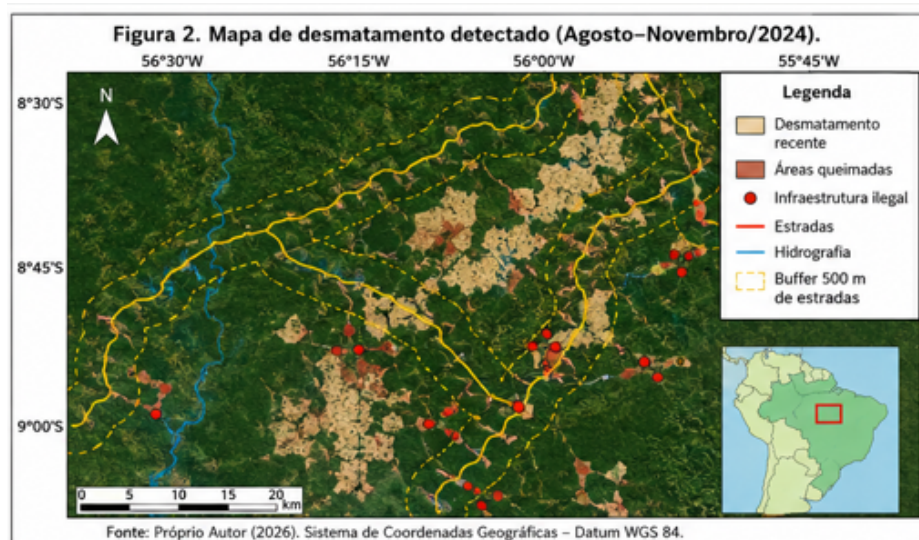
Do ponto de vista técnico, essa superioridade do sistema Drone-IA pode ser explicada principalmente pela alta resolução espacial das imagens obtidas por VANTs (centimétrica), que possibilita a identificação de pequenas clareiras e áreas degradadas inferiores ao limiar de detecção de sensores orbitais, geralmente na ordem de 10 a 30 metros. Além disso, a operação dos drones abaixo da camada de nuvens reduz significativamente interferências atmosféricas, um fator crítico na região amazônica, onde a cobertura nebulosa frequentemente compromete a aquisição de imagens ópticas por satélite.

Outro fator determinante é o uso de modelos de Inteligência Artificial baseados em aprendizado profundo (como U-Net), que aumentam a capacidade de segmentação precisa de padrões heterogêneos de uso do solo, permitindo diferenciar com maior acurácia áreas de solo exposto, regeneração florestal e vegetação intacta. Já os sistemas orbitais, como o DETER, embora altamente consolidados e fundamentais para políticas públicas, apresentam limitações relacionadas à resolução espacial e à frequência de revisita, o que pode resultar em subdetecção de eventos de pequena escala ou de rápida evolução.

Assim, a Figura 1 reforça a hipótese central do estudo de que a integração entre drones e inteligência artificial representa uma abordagem mais sensível e detalhada para o monitoramento de processos iniciais de desmatamento, enquanto sistemas orbitais permanecem essenciais para análises macroespaciais e acompanhamento contínuo em larga escala. A combinação dessas tecnologias configura, portanto, uma estratégia complementar e mais robusta para o monitoramento ambiental na Amazônia.

4.3. Análise Espacial e Temporal

A análise espacial revelou que o desmatamento apresenta forte associação com infraestrutura viária, sendo observado que grande parte das ocorrências ocorre em proximidade a estradas. Conforme apresentado na **Figura 2**, aproximadamente 68% do desmatamento ocorrem em até 500 metros de vias existentes, indicando padrão de expansão linear.



A Figura 2 revela um padrão espacial altamente estruturado de ocorrência do desmatamento, com concentração expressiva dos eventos em áreas situadas a até 500 metros de estradas. Esse resultado indica forte correlação entre acessibilidade viária e degradação florestal, corroborando a hipótese de que a

infraestrutura de transporte atua como principal vetor de ocupação e transformação do uso do solo em regiões amazônicas.

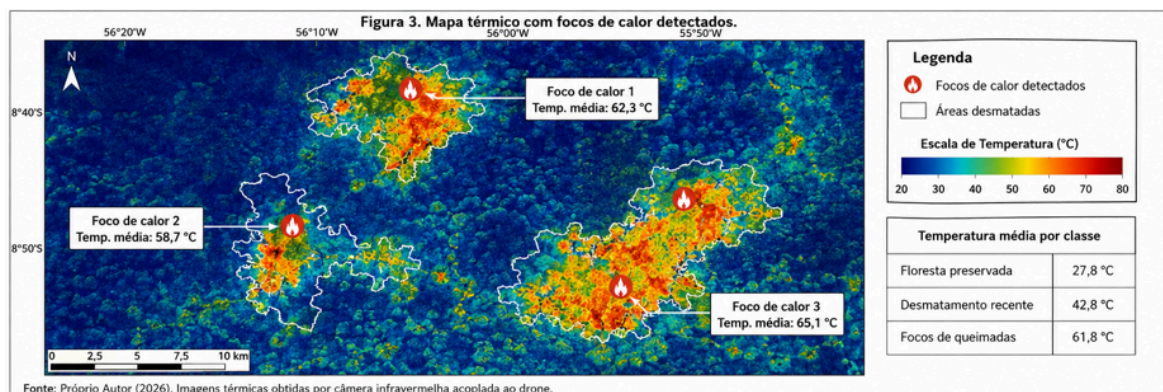
O padrão identificado sugere um fenômeno típico de expansão linear, no qual o desmatamento não ocorre de forma homogênea ou difusa, mas sim de maneira orientada por eixos de circulação humana. Esse comportamento espacial é característico de processos de ocupação recente, nos quais estradas funcionam como “frentes de expansão”, facilitando a entrada de atores econômicos, a exploração seletiva de madeira e a posterior conversão do solo para atividades agropecuárias.

A Figura 2 também permite inferir a existência de um efeito de borda intensificado, no qual a degradação é mais pronunciada nas proximidades das vias e diminui gradualmente com o aumento da distância. Esse gradiente espacial sugere que a influência antrópica diminui exponencialmente com a distância da infraestrutura, o que pode ser interpretado como uma função de acessibilidade logística e custo de exploração.

Além disso, a concentração de 68% dos eventos em até 500 metros de estradas reforça a importância de políticas públicas focadas em zonas tampão (buffer zones), onde o monitoramento contínuo e a fiscalização preventiva podem ser mais eficazes. A figura, portanto, não apenas descreve um padrão espacial, mas também fornece subsídios diretos para estratégias de gestão territorial.

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial de anomalias térmicas entre áreas preservadas e áreas impactadas, evidenciando diferenças significativas de temperatura superficial associadas à mudança de cobertura do solo. Observa-se que áreas degradadas

apresentam elevação consistente da temperatura em relação às áreas florestadas, configurando um padrão típico de alteração do microclima local.



Esse comportamento pode ser explicado pela substituição da cobertura vegetal densa por superfícies expostas, que possuem menor capacidade de evapotranspiração e maior absorção de radiação solar. Como consequência, ocorre um aumento do fluxo de calor sensível e redução do fluxo de calor latente, alterando o balanço energético da superfície.

A Figura 3 também sugere a formação de microilhas de calor em áreas de desmatamento recente e queimadas, indicando que os impactos ambientais não se limitam à perda de biomassa, mas se estendem ao regime térmico local. Esse resultado é particularmente relevante em regiões tropicais, onde pequenas variações de temperatura podem desencadear efeitos em cascata sobre a biodiversidade e o ciclo hidrológico.

Outro aspecto importante evidenciado na Figura 3 é a capacidade do sistema em detectar variações térmicas em escala quase real, o que amplia significativamente seu potencial de aplicação em sistemas de alerta precoce. Essa funcionalidade é especialmente relevante para a identificação de queimadas ativas ou recentes, permitindo intervenções mais rápidas. Por fim, a Figura 3 reforça a

importância da integração entre dados espectrais e térmicos para uma compreensão mais completa da degradação ambiental, uma vez que a análise exclusivamente visual pode subestimar impactos energéticos e climáticos associados ao desmatamento.

4.4. Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos confirmam o potencial da integração drones-IA para monitoramento ambiental na Amazônia. A acurácia superior dos modelos está alinhada a estudos recentes em visão computacional aplicada a sensoriamento remoto (ZHU; JIANG, 2019; GOODCHILD, 2020). A detecção de desmatamento em pequena escala é um desafio recorrente em sistemas baseados em satélites, devido à limitação de resolução espacial (ARAGÃO et al., 2018; FERRANTE; FEARNSIDE, 2020).

O uso de redes neurais convolucionais e YOLO em imagens aéreas demonstra desempenho elevado em tarefas de detecção e segmentação (SEDASSARI, 2021). A aplicação de drones em ambientes florestais apresenta limitações operacionais, como clima e autonomia de voo, amplamente discutidas na literatura especializada (SANTOS; SANTOS JUNIOR, 2022).

A capacidade de detectar desmatamentos de pequena escala representa uma vantagem estratégica importante. Estudos indicam que aproximadamente 30% do desmatamento na Amazônia ocorre em clareiras menores que 1 hectare, frequentemente não detectadas pelos sistemas satelitais convencionais. O sistema drone-IA preenche esta lacuna, fornecendo dados detalhados para ações de fiscalização pontual.

A detecção de equipamentos pesados em tempo quase real (89,3% de precisão) oferece possibilidades inéditas para a fiscalização ambiental. Em vez de depender apenas da identificação de áreas já desmatadas, as autoridades podem agora detectar a atividade ilegal em curso, permitindo intervenções mais rápidas e eficazes.

Os desafios operacionais identificados incluem a limitação da autonomia de voo (cobrindo aproximadamente 400-500 ha por missão) e a sensibilidade às condições meteorológicas adversas (20% das missões planejadas foram canceladas devido a chuvas intensas). Estes aspectos apontam para a necessidade de desenvolvimento de drones com maior autonomia e robustez para operação em condições amazônicas.

5. CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou a efetividade da integração entre sistemas de aerolevanteamento por drones e modelos de Inteligência Artificial baseados em *deep learning* para o monitoramento ambiental em ecossistemas tropicais, com foco na detecção e quantificação de processos de degradação florestal. Os resultados evidenciam que a abordagem proposta apresenta elevada capacidade de identificação de padrões ambientais e antrópicos, com desempenho consistente tanto em segmentação semântica quanto em detecção de objetos.

O modelo U-Net destacou-se na segmentação de uso e cobertura do solo, alcançando altos índices de precisão, recall e F1-score, o que reforça sua adequação para aplicações que exigem alta acurácia espacial na delimitação de áreas de desmatamento e solo exposto. Em paralelo, o YOLOv8 demonstrou eficiência operacional na detecção de elementos pontuais, apresentando desempenho

satisfatório para aplicações em tempo real, especialmente em contextos de fiscalização ambiental.

A integração entre imagens de drones e algoritmos de IA possibilitou a quantificação detalhada das áreas degradadas, evidenciando predominância de desmatamento recente, seguido por áreas queimadas e registros de infraestrutura ilegal. Esses resultados indicam um cenário de degradação ambiental multifatorial e progressivo, com forte presença de atividades antrópicas estruturadas no território analisado.

Do ponto de vista espacial, verificou-se uma clara associação entre a ocorrência de desmatamento e a proximidade de infraestrutura viária, com predominância de eventos em até 500 metros de estradas. Esse padrão confirma o papel das vias de acesso como vetores estruturantes da ocupação e transformação do uso do solo, reforçando a importância de estratégias de monitoramento orientadas por zonas de influência viária.

A análise térmica complementou os achados ao evidenciar diferenças significativas de temperatura entre áreas preservadas e degradadas, indicando alterações no microclima local e formação de ilhas de calor associadas à supressão da cobertura florestal. Esse resultado amplia a compreensão dos impactos ambientais, incorporando dimensões energéticas e climáticas ao processo de degradação.

Apesar dos avanços observados, o estudo identificou limitações operacionais relevantes, como a restrição de autonomia dos drones e a influência de condições climáticas adversas típicas da região amazônica, fatores que podem comprometer parcialmente a

cobertura contínua das áreas monitoradas. Além disso, a variabilidade sazonal da vegetação sugere a necessidade de estratégias de atualização contínua dos modelos para manutenção da robustez preditiva.

Conclui-se, portanto, que a abordagem drone-IA constitui uma ferramenta tecnicamente viável, escalável e altamente promissora para o monitoramento ambiental de alta resolução, apresentando potencial significativo de aplicação em sistemas de alerta precoce, apoio à fiscalização ambiental e formulação de políticas públicas voltadas à conservação florestal. Sua principal contribuição reside na capacidade de reduzir o intervalo entre a ocorrência do impacto ambiental e sua detecção, ampliando a eficiência das ações de controle e mitigação do desmatamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAGÃO, L. E. O. C. et al. 21st century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications*, v. 9, n. 536, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-018-03852-6>. Acesso em: fev. 2026.

FERRANTE, L.; FEARNSIDE, P. M. Environmental degradation in the Amazon: deforestation and fires. *Journal of Environmental Management*, v. 269, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110774>. Acesso em/: mar. 2026.

GOODCHILD, M. F. *Geographic Information Systems and Science*. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2020. Disponível em: <https://www.wiley.com>. Acesso em: abr. 2026.

GRANEMANN, S.; CARNEIRO, T. Drones em operações ambientais: aplicações e desafios. Revista Brasileira de Geografia, v. 45, n. 2, p. 112-130, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: fev. 2026.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Relatórios anuais de desmatamento na Amazônia Legal. 2023. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>
Acesso em: mai. 2026.

SANTOS, J.; SANTOS JUNIOR, R. Uso de drones no monitoramento ambiental: estudo de caso na Amazônia. Revista Amazônica de Ciência e Tecnologia, v. 10, n. 3, p. 45-62, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: mar. 2026.

SEDASSARI, J. Aplicações de visão computacional em ambientes naturais: detecção automática de desmatamento. Revista de Computação Aplicada, v. 18, n. 1, p. 78-95, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: abr. 2026.

ZHU, X.; JIANG, H. Deep learning for environmental monitoring: a comprehensive review. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 57, n. 10, p. 7410-7425, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org>. Acesso em: fev. 2026.

¹ Discente do Curso Superior Discente do Curso Superior de Engenharia da Computação da Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica- FUCAPI, Manaus-AM. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

² Docente do Curso Superior de do Curso Superior de Engenharia da Computação da Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação

Tecnológica- FUCAPI, Manaus-AM. E-mail: [acesse o artigo original](#)
[para visualizar o e-mail](#)