

Governança da terra: reflexões a partir da política de regularização fundiária do Piauí

Rodrigo Ribeiro Costa Cavalcante
Rhubens Ewald Moura Ribeiro
Cássio de Sousa Borges
Eduarda e Silva da Cunha
Ranyere Mendes de Oliveira Marques

Volume 2



Rodrigo Ribeiro Costa Cavalcante
Rhubens Ewald Moura Ribeiro
Cássio de Sousa Borges
Eduarda e Silva da Cunha
Rannyere Mendes de Oliveira Marques

Governança da terra: reflexões a
partir da política de **regularização**
fundiária do Piauí
Volume 2

Teresina
2026

SUPERVISÃO EDITORIAL

Ana Kelma Cunha Gallas

DIAGRAMAÇÃO

Kleber Albuquerque Gallas Filho

DESIGN GRÁFICO E CAPA

Ana Kelma Cunha Gallas

IMAGENS DAS SEÇÕES

Letícia Mendes (INTERPI)

REVISÃO TÉCNICA

Edson Rodrigues Cavalcante

TI DOI MANAGER

Eliezyo Silva



LESTU EDITORA, CONSULTORIA E
COMUNICAÇÃO LTDA.

Contato: editora@lestu.org
site: www.lestu.com.br
Livraria: www.lestu.org

**GOVERNO DO ESTADO DO PIAUÍ****Governador do Estado do Piauí**

Rafael Tajra Fonteles

Vice-Governador do Estado do Piauí

Themístocles de Sampaio Pereira Filho

**INSTITUTO DE REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA E PATRIMÔNIO
IMOBILIÁRIO DO PIAUÍ – INTERPI****Diretor-Geral**

Rodrigo Ribeiro Costa Cavalcante

Diretor Administrativo e Financeiro

Rannyere Mendes de Oliveira Marques

Diretor de Gestão Estratégica Fundiária

Vinicius Sales Oliveira Coelho

Diretora de Gestão Fundiária de Interesse Social

Clarecinda de Araújo Moura Jesuíno Teixeira

Diretor de Operações

Leonel Brito Lima

Diretor de Povos e Comunidades Tradicionais

Saullo Lopes Amorim Alves da Silva

Diretor de Sistemas e Inteligência Geoespacial

Rhubens Ewald Moura Ribeiro

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada por Edson Rodrigues Cavalcante 1649/CRB3

C572g Governança da terra: reflexões a partir da política de regularização fundiária do Piauí / CAVALCANTE, Rodrigo Ribeiro Costa; RIBEIRO, Rhubens Ewald Moura; BORGES, Cássio de Sousa; CUNHA, Eduarda e Silva da; MARQUES, Rannyere Mendes de Oliveira (Orgs.). v. 2. Teresina: Editora Lestu, 2026.

Trabalhos apresentados no I Congresso Científico do Instituto de Terras do Piauí (CINTERPI), realizado em Teresina, nos dias 2 e 3 de dez. 2025.

356 f; il.

ISBN: 978-65-85729-16-1

DOI: 10.51205/lestu.978-65-85729-16-1

1. Política fundiária- Piauí. 2. Regularização fundiária- Brasil. 3. Território e desenvolvimento regional. 4. Gestão Pública. I. Organizadores. II. Título. III. Localidade. IV. Instituição Promotora.

CDD: 333.31

Índices para catálogos sistemáticos:

Regularização fundiária - Brasil: Política fundiária - Piauí. Território e desenvolvimento regional. Gestão pública.

PIAUÍ. Câmaras Setoriais. **Desapropriação do assentamento El Shaday e projetos pelo PRO Piauí ao assentamento Vale da Esperança.** [S.l.: s.n.], [s.d.]. Disponível em: <http://www.camarasetoriais.pi.gov.br/noticia.php?id=806>. Acesso em: 12 nov. 2025.

PIAUÍ. Governo do Estado. **Lei nº 7.294/2019 – Lei de Regularização Fundiária Estadual.** Disponível em: <https://www.interpi.pi.gov.br/wp-content/uploads/2024/03/Lei-no-7294-2019-%E2%80%93-Lei-de-Regularizacao-Fundiaria-Estadual.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2025.

TV CAPITAL DO PIAUÍ. **Assentamento El Shaday em Teresina recebe diversas obras de infraestrutura.** *YouTube*, 25 abr. 2025. 11 min 49 s. Disponível em: <https://youtu.be/4skC38pNSz0>. Acesso em: 12 nov. 2025.

TV CAPITAL DO PIAUÍ. **Expo El Shaday em sua décima edição atrai multidão no Assentamento El Shaday em Teresina.** *YouTube*, 12 ago. 2024. 6 min 45 s. Disponível em: <https://youtu.be/CIpHXFPZnJM>. Acesso em: 13 nov. 2025.

TV CAPITAL DO PIAUÍ. **Capital Rural – Moreirão do Povo.** [S.l.: s.n.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.tvcapitaldopiaui.com/noticias/capital-rural-moreiro-do-povo/1138078>. Acesso em: 10 nov. 2025.

ALTIERI, Miguel A. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável.** 3. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2012.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável.** Rio de Janeiro: Garamond, 2004.

ABRAMOVAY, Ricardo. **Agricultura familiar e desenvolvimento sustentável: temas para debate.** Porto Alegre: UFRGS, 1999.

ALTIERI, Miguel A. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável.** 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

VEIGA, José Eli da. **Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI.** Rio de Janeiro: Garamond, 2008.

CASTEL, Robert. **As metamorfoses da questão social: uma crônica do salário.** Petrópolis: Vozes, 1998.

SEN, Amartya. **Desenvolvimento como liberdade.** São Paulo: Companhia das Letras, 2000.

5

O USO DAS FERRAMENTAS DE SENSORIAMENTO REMOTO COM AUXÍLIO DAS INTELIGÊNCIAS ARTIFICIAIS PARA DEMARCAÇÃO DE TERRITÓRIOS NA BAIXADA MARANHENSE

The use of remote sensing tools with the aid of artificial intelligence for territorial demarcation in baixada maranhense

El uso de herramientas de teledetección con ayuda de inteligencia artificial para la demarcación territorial en la baixada maranhense

João Leonardo Carvalho Araujo Sousa¹

RESUMO

O presente artigo analisa o uso das ferramentas de sensoriamento remoto com auxílio das inteligências artificiais como estratégia para a demarcação de territórios na Baixada Maranhense. A pesquisa integrou imagens de satélite e algoritmos de aprendizado de máquina, permitindo a identificação de padrões espaciais com maior precisão em uma região marcada por sazonalidade, conflitos fundiários e diversidade ambiental. Os resultados evidenciaram a relevância dessas tecnologias para subsidiar políticas públicas, processos de regularização fundiária e monitoramento ambiental. Além disso, constatou-se que a integração entre ciência, tecnologia e comunidades locais fortalece a construção de um modelo de desenvolvimento sustentável e inclusivo.

Palavras-Chaves: Sensoriamento remoto; Inteligência artificial; Demarcação territorial; Baixada Maranhense; Sustentabilidade.

¹ Graduando em Geografia Bacharelado, UEMA, joaocarvalholeonardo@gmail.com.

ABSTRACT

This article analyzes the use of remote sensing tools supported by artificial intelligence as a strategy for land demarcation in the Baixada Maranhense region, Brazil. The research integrated satellite imagery and machine learning algorithms, enabling more accurate identification of spatial patterns in an area marked by seasonality, land disputes, and environmental diversity. The results highlighted the relevance of these technologies in supporting public policies, land regularization processes, and environmental monitoring. Furthermore, the integration of science, technology, and local communities proved essential to promoting sustainable and inclusive development.

Keywords: Remote sensing; Artificial intelligence; Land demarcation; Baixada Maranhense; Sustainability.

RESUMEN

Este artículo analiza el uso de herramientas de teledetección con el apoyo de inteligencias artificiales como estrategia para la demarcación de territorios en la región de la Baixada Maranhense, Brasil. La investigación integró imágenes satelitales y algoritmos de aprendizaje automático, lo que permitió una identificación más precisa de los patrones espaciales en un contexto marcado por la estacionalidad, los conflictos de tierras y la diversidad ambiental. Los resultados demostraron la importancia de estas tecnologías para apoyar políticas públicas, procesos de regularización territorial y monitoreo ambiental. Además, se constató que la integración entre ciencia, tecnología y comunidades locales contribuye al fortalecimiento de un modelo de desarrollo sostenible e inclusivo.

Palabras clave: Teledetección; Inteligencia artificial; Demarcación territorial; Baixada Maranhense; Sostenibilidad.

1 INTRODUÇÃO

O avanço das tecnologias de sensoriamento remoto, aliado ao desenvolvimento das inteligências artificiais (IA), tem revolucionado as formas de análise e monitoramento territorial. Na região da Baixada Maranhense, marcada por complexos ecossistemas de campos inundáveis, manguezais e áreas de uso agrícola, a delimitação de territórios representa um desafio histórico devido às dinâmicas ambientais, sociais e fundiárias.

Nesse cenário, o uso integrado de imagens de satélite e algoritmos inteligentes torna-se uma ferramenta estratégica para a identificação de limites, classificação de uso do solo e apoio à gestão territorial.

A justificativa para este estudo baseia-se na necessidade urgente de aprimorar os instrumentos de planejamento territorial em áreas ambientalmente frágeis e socialmente vulneráveis, como a Baixada Maranhense. A carência de informações atualizadas e precisas, somada às pressões da expansão agropecuária e da ocupação desordenada, evidencia a importância de metodologias que unam eficiência técnica e aplicabilidade prática. O emprego de ferramentas de sensoriamento remoto com o auxílio da inteligência artificial contribui não apenas para a delimitação territorial, mas também para a formulação de políticas públicas que promovam desenvolvimento sustentável e preservação ambiental.

Assim, os objetivos deste artigo são: Analisar o papel das ferramentas de sensoriamento remoto, integradas às inteligências artificiais, na demarcação de territórios da Baixada Maranhense; Identificar metodologias e técnicas aplicáveis ao monitoramento territorial em regiões de alta complexidade ambiental; Discutir os benefícios e limitações do uso dessas tecnologias como suporte ao planejamento e à gestão do território.

Estudos anteriores apontam que o sensoriamento remoto, quando associado a algoritmos de aprendizado de máquina, permite maior acurácia na classificação de uso e cobertura da terra (NOVO, 2010; JENSEN, 2009). Além disso, autores como Florenzano (2011) ressaltam a relevância dessas técnicas para análises espaciais em regiões vulneráveis, enquanto Campbell e Wynne (2011) destacam a integração de geotecnologias com inteligência computacional como um caminho promissor para gestão territorial em diferentes escalas. No contexto brasileiro, Rosa (2013) e Assis (2017) reforçam que a incorporação de tecnologias inovadoras amplia a capacidade de monitoramento e auxilia na tomada de decisão em áreas de conflitos fundiários e socioambientais.

Além da relevância científica, a utilização de ferramentas de sensoriamento remoto apoiadas por inteligências artificiais apresenta também um caráter social e político, sobretudo em regiões onde a delimitação de territórios está diretamente associada a questões fundiárias e de direitos coletivos. Na Baixada Maranhense, diversas comunidades tradicionais, como pescadores, agricultores familiares e quilombolas,

enfrentam disputas por espaço e dificuldades no reconhecimento de suas áreas de uso. Nesse sentido, as tecnologias emergem como instrumentos capazes de subsidiar políticas públicas mais justas e transparentes, fornecendo informações confiáveis e atualizadas para processos de regularização territorial e conservação ambiental.

Do ponto de vista tecnológico, a aplicação de algoritmos de inteligência artificial no tratamento de dados de sensoriamento remoto amplia significativamente a capacidade de análise espacial. Técnicas como aprendizado de máquina e redes neurais convolucionais possibilitam identificar padrões complexos em imagens de satélite, com maior precisão do que métodos convencionais. Isso é especialmente relevante para a Baixada Maranhense, onde a sazonalidade das inundações e a diversidade de usos do solo dificultam interpretações tradicionais. Assim, a integração entre IA e sensoriamento remoto representa um avanço metodológico, permitindo monitoramentos contínuos e resultados mais robustos.

Por fim, a escolha da Baixada Maranhense como área de estudo reforça a importância de investigar regiões que combinam alta vulnerabilidade ambiental com forte dependência de recursos naturais por parte das populações locais. O entendimento e a demarcação precisa desses territórios não apenas auxiliam no ordenamento territorial, mas também fortalecem estratégias de desenvolvimento sustentável e preservação cultural. Dessa forma, este artigo alinha-se ao esforço de integrar ciência, tecnologia e sociedade, propondo soluções inovadoras para desafios históricos enfrentados pela região.

Portanto, a presente pesquisa busca contribuir para a compreensão e aplicação das ferramentas de sensoriamento remoto e inteligência artificial como instrumentos fundamentais para a demarcação territorial da Baixada Maranhense, promovendo uma interface entre inovação tecnológica, gestão ambiental e justiça territorial.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O sensoriamento remoto é definido como o conjunto de técnicas que permitem a obtenção de informações sobre a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto, utilizando sensores instalados em satélites, aeronaves ou drones. De acordo com Novo (2010), essa

ferramenta constitui um dos principais instrumentos para o mapeamento e monitoramento ambiental, por possibilitar a coleta sistemática de dados em diferentes escalas espaciais e temporais. Jensen (2009) complementa ressaltando que a análise dessas imagens tem sido fundamental para compreender mudanças na cobertura da terra, avaliar impactos ambientais e subsidiar processos de planejamento territorial.

Florenzano (2011) destaca que o sensoriamento remoto é especialmente útil em áreas de difícil acesso ou sujeitas a dinâmicas ambientais complexas, como as zonas de campos inundáveis. Nessas regiões, o acompanhamento por meio de satélites é capaz de revelar padrões de inundação, variação sazonal e transformações no uso do solo. Para Rosa (2013), a disseminação das geotecnologias, incluindo o sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas (SIG), democratizou o acesso a dados territoriais e possibilitou avanços significativos nas pesquisas geográficas e ambientais no Brasil.

Inteligência Artificial aplicada ao Sensoriamento Remoto

O avanço das inteligências artificiais (IA), sobretudo por meio do aprendizado de máquina e das redes neurais, trouxe uma nova dimensão para o processamento e interpretação de dados de sensoriamento remoto. Segundo Goodfellow, Bengio e Courville (2016), a capacidade de algoritmos de deep learning em reconhecer padrões complexos representa um salto metodológico, permitindo análises mais rápidas e precisas em grandes volumes de dados.

No campo das geociências, Campbell e Wynne (2011) afirmam que a integração entre geotecnologias e IA possibilita classificações mais robustas da cobertura e uso da terra, reduzindo erros e incertezas associados a métodos tradicionais de fotointerpretação. Assis (2017) complementa que a aplicação dessas técnicas é fundamental em contextos territoriais marcados por conflitos fundiários e pressões ambientais, uma vez que a acurácia dos resultados oferece maior confiabilidade para subsidiar decisões administrativas e jurídicas.

A demarcação de territórios é uma prática essencial para a garantia de direitos sociais, ambientais e econômicos. No Brasil, a ausência de registros cartográficos atualizados e a expansão de atividades econômicas desordenadas têm intensificado os conflitos pela terra. Conforme Almeida

(2006), a cartografia crítica deve ser entendida como um instrumento de poder, uma vez que a definição de limites territoriais está diretamente associada à legitimação de direitos e ao exercício de cidadania.

Na Baixada Maranhense, região caracterizada por mosaicos de ecossistemas frágeis e ocupada por comunidades tradicionais, a delimitação territorial é um desafio histórico. Pressões da agropecuária extensiva, da especulação imobiliária e de políticas públicas pouco eficazes agravam a situação. Nesse contexto, o uso combinado de sensoriamento remoto e IA apresenta-se como uma solução inovadora para atualizar informações espaciais, identificar mudanças no território e oferecer subsídios técnicos que fortaleçam a justiça socioambiental na região.

Dessa forma, a literatura evidencia que o uso de sensoriamento remoto associado à inteligência artificial é um campo em plena expansão, com aplicações relevantes no monitoramento e demarcação de territórios. Autores como Novo (2010), Jensen (2009) e Florenzano (2011) demonstram a consolidação do sensoriamento remoto como ferramenta essencial na análise territorial, enquanto Goodfellow et al. (2016) e Campbell & Wynne (2011) reforçam o papel da inteligência artificial na ampliação da precisão e aplicabilidade dessas análises. Para a realidade brasileira, Rosa (2013) e Assis (2017) ressaltam a relevância do uso dessas tecnologias em contextos de vulnerabilidade social e ambiental, como é o caso da Baixada Maranhense.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo aplicado, de natureza exploratória e descritiva, com abordagem qualitativa e quantitativa. Segundo Gil (2008), a pesquisa aplicada busca gerar conhecimentos direcionados à solução de problemas concretos, enquanto a natureza exploratória possibilita maior familiaridade com o objeto de estudo. Nesse sentido, a investigação propõe-se a avaliar o potencial do sensoriamento remoto aliado às inteligências artificiais como instrumentos para a demarcação territorial na Baixada Maranhense.

A área de estudo compreende a Baixada Maranhense, localizada no estado do Maranhão, caracterizada por extensas planícies inundáveis,

manguezais e ecossistemas de transição. Trata-se de uma região declarada como Reserva da Biosfera pela UNESCO (2000), mas que enfrenta fortes pressões socioambientais decorrentes da expansão agropecuária, da especulação fundiária e da ausência de políticas eficazes de ordenamento territorial.

Os procedimentos técnicos envolveram a utilização de imagens de satélite de média e alta resolução (como Landsat-8, Sentinel-2 e PlanetScope), obtidas em bases gratuitas e institucionais. Essas imagens foram processadas em softwares de geoprocessamento, como o QGIS e o Google Earth Engine, que possibilitam a manipulação de grandes volumes de dados e a aplicação de algoritmos de classificação automática. De acordo com Florenzano (2011), esses instrumentos são essenciais para análises espaciais em áreas de difícil monitoramento.

As etapas metodológicas envolveram: Aquisição de imagens multiespectrais correspondentes a diferentes períodos do ano, contemplando a sazonalidade da região; Pré-processamento das imagens, incluindo correção radiométrica, atmosférica e geométrica, conforme recomendações de Jensen (2009); Classificação supervisionada e não supervisionada do uso e cobertura da terra, utilizando algoritmos de aprendizado de máquina; Validação dos resultados, por meio de pontos de controle obtidos em campo e imagens de alta resolução disponíveis em plataformas como Google Earth.

Para a análise automatizada, foram testados modelos de inteligência artificial como *Random Forest (RF)* e *Support Vector Machine (SVM)*, amplamente utilizados em estudos de classificação espacial (Goodfellow; Bengio; Courville, 2016). Além disso, foram aplicadas redes neurais convolucionais (CNNs), com potencial de aprimorar a detecção de padrões complexos em áreas de transição ambiental. Segundo Campbell e Wynne (2011), essas técnicas oferecem maior robustez na identificação de feições territoriais e reduzem a subjetividade da interpretação visual.

Assim, a metodologia adotada combina técnicas tradicionais de geoprocessamento com métodos inovadores baseados em inteligência artificial, buscando alcançar maior precisão na demarcação dos territórios da Baixada Maranhense. Essa integração é fundamental para subsidiar análises ambientais, apoiar a tomada de decisão e propor soluções efetivas para os desafios de ordenamento territorial na região.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A aplicação das técnicas de sensoriamento remoto, em conjunto com algoritmos de inteligência artificial, demonstrou grande eficiência na identificação e delimitação de áreas na Baixada Maranhense. A classificação supervisionada, realizada com *Random Forest (RF)* e *Support Vector Machine (SVM)*, apresentou índices de acurácia superiores a 85%, confirmando a viabilidade desses métodos para a análise territorial em regiões ambientalmente complexas. Esses resultados corroboram estudos de Jensen (2009), que evidenciam a capacidade dos métodos supervisionados em alcançar elevado grau de precisão na interpretação de imagens multiespectrais.

O uso de imagens de diferentes satélites, como Landsat-8 e Sentinel-2, possibilitou uma visão multitemporal do território, revelando transformações no uso do solo ao longo dos últimos anos. Foi possível identificar a expansão de áreas de agropecuária extensiva em detrimento de ecossistemas naturais, especialmente em zonas tradicionalmente ocupadas por campos inundáveis. Tais mudanças confirmam o alerta feito por Florenzano (2011), que aponta o sensoriamento remoto como uma ferramenta indispensável para monitorar transformações ambientais em áreas vulneráveis.

A sazonalidade típica da Baixada Maranhense foi outro fator relevante evidenciado pelos resultados. Durante o período de cheias, grandes extensões de áreas alagadas foram corretamente identificadas pelos algoritmos, enquanto, na estiagem, registrou-se a intensificação do uso agropecuário. Essa capacidade de diferenciar padrões sazonais reforça a importância da análise multitemporal, destacada por Novo (2010), como elemento essencial para a compreensão de dinâmicas ambientais em regiões de transição.

A utilização de redes neurais convolucionais (CNNs) ampliou a precisão da classificação em áreas de transição entre ambientes naturais e modificados. O desempenho das CNNs mostrou-se superior às técnicas convencionais, principalmente na detecção de pequenos fragmentos de vegetação e áreas úmidas, geralmente negligenciados por classificadores tradicionais. Esse resultado confirma o apontamento de Goodfellow, Bengio e Courville (2016), segundo os quais o *deep learning* representa uma revolução no reconhecimento de padrões espaciais complexos.

No que se refere à demarcação territorial, os resultados evidenciaram a sobreposição entre áreas de uso tradicional por comunidades locais e zonas de expansão econômica recente. Essa sobreposição explicita os conflitos fundiários e ambientais característicos da região, conforme já descrito por Almeida (2006), ao destacar que a cartografia crítica deve ser compreendida como instrumento de poder e disputa política. Os mapas produzidos a partir desta pesquisa, portanto, não apenas identificam o uso e cobertura do solo, mas também revelam tensões territoriais que exigem intervenções de caráter social e jurídico.

A análise espacial apontou ainda que áreas de proteção ambiental, legalmente instituídas, apresentam pressões crescentes de uso agropecuário e especulação imobiliária. Essa constatação converge com os estudos de Assis (2017), que salientam a relevância das geotecnologias para evidenciar conflitos entre legislações ambientais e práticas de uso do território. Na Baixada Maranhense, o uso de IA e sensoriamento remoto mostrou-se essencial para monitorar a efetividade das políticas de conservação, identificando lacunas na fiscalização e na gestão ambiental.

Outro ponto de destaque foi a eficiência da integração entre SIG e inteligência artificial para gerar informações acessíveis a gestores públicos e comunidades locais. Os resultados foram convertidos em mapas temáticos e relatórios digitais, que podem subsidiar tomadas de decisão relacionadas à regularização fundiária e ao ordenamento territorial. Essa aplicabilidade prática reforça o caráter social da pesquisa, alinhando-se ao entendimento de Rosa (2013), que defende as geotecnologias como instrumentos democratizadores do conhecimento geográfico.

A validação dos resultados, realizada por meio de pontos de controle obtidos em campo e imagens de alta resolução, apresentou índices de concordância superiores a 80%. Esse dado confirma a robustez metodológica empregada e a confiabilidade das informações geradas, em consonância com o que defendem Campbell e Wynne (2011), ao destacar que a validação empírica é etapa indispensável em estudos de sensoriamento remoto aplicados à gestão territorial.

A aplicação das técnicas de sensoriamento remoto, combinadas a algoritmos de inteligência artificial, demonstrou resultados promissores para a demarcação de territórios na Baixada Maranhense. A análise das imagens multiespectrais possibilitou a diferenciação de áreas de

uso agrícola, vegetação nativa e zonas alagadas, com elevado grau de detalhamento. Esse desempenho confirma a relevância da integração entre tecnologias digitais e geociências, conforme já salientado por Novo (2010), ao indicar que a evolução do sensoriamento remoto amplia a capacidade de monitorar territórios em constante transformação.

As classificações supervisionadas com os algoritmos *Random Forest (RF)* e *Support Vector Machine (SVM)* apresentaram índices de acurácia superiores a 85%. Esse resultado evidencia a robustez dessas metodologias na identificação de padrões espaciais complexos, mesmo em regiões sujeitas a sazonalidades intensas. Estudos como o de Jensen (2009) reforçam que os métodos supervisionados possuem maior capacidade de discriminar classes de cobertura do solo em contextos heterogêneos, característica marcante da Baixada Maranhense.

A análise multitemporal com imagens de satélites Landsat-8 e Sentinel-2 permitiu detectar transformações no território ao longo de diferentes anos. Observou-se a expansão significativa de áreas agropecuárias, em especial a pecuária extensiva, sobre espaços tradicionalmente ocupados por vegetação nativa e campos inundáveis. Esse padrão confirma processos de ocupação irregular e uso intensivo dos recursos naturais, em consonância com o que Florenzano (2011) identifica como pressões antrópicas detectáveis via sensoriamento remoto.

Durante o período de cheias, os algoritmos captaram de forma precisa a expansão das áreas alagadas, permitindo mapear zonas de inundação sazonal e distinguir corpos d'água permanentes de temporários. Já no período de estiagem, observou-se a intensificação da ocupação por práticas agropecuárias, principalmente na abertura de novas áreas para pastagem. Essa variação confirma a importância da abordagem multitemporal, como defendido por Novo (2010), para captar as dinâmicas cíclicas da região.

A aplicação de redes neurais convolucionais (CNNs) trouxe avanços expressivos na detecção de fragmentos ambientais. Diferentemente dos métodos supervisionados clássicos, as CNNs mostraram maior precisão na identificação de pequenos fragmentos florestais, áreas de manguezal e zonas de transição entre ambientes naturais e antrópicos. Isso comprova a superioridade do *deep learning* no reconhecimento de padrões complexos, em linha com Goodfellow, Bengio e Courville (2016),

que destacam o papel dessas técnicas na análise de imagens espaciais.

A comparação entre os classificadores revelou que o *Random Forest* apresentou melhor desempenho na separação de classes amplas, como agropecuária e vegetação, enquanto as CNNs se destacaram em ambientes de transição e fragmentação. Essa complementaridade metodológica demonstra que a integração de técnicas é mais eficiente do que a aplicação isolada de um único método, perspectiva já ressaltada por Campbell e Wynne (2011) ao discutirem a combinação de abordagens em análises territoriais.

Os resultados evidenciaram ainda a sobreposição entre áreas de uso tradicional, como aquelas destinadas à agricultura familiar e à pesca artesanal, e zonas de recente expansão agropecuária. Esse processo aprofunda os conflitos fundiários existentes na região, revelando a pertinência do argumento de Almeida (2006), de que a cartografia e a demarcação territorial não são apenas técnicas neutras, mas instrumentos de poder que refletem disputas sociais e políticas.

As áreas legalmente protegidas, como reservas ambientais e territórios de uso coletivo, apresentaram pressão crescente de atividades antrópicas. O avanço da pecuária e a especulação imobiliária em zonas úmidas, detectados pelas imagens e algoritmos, confirmam a insuficiência das políticas de fiscalização e gestão ambiental. Assis (2017) ressalta que o uso das geotecnologias é essencial para evidenciar tais conflitos, uma vez que fornece dados empíricos de difícil contestação em disputas judiciais e administrativas.

A produção de mapas temáticos demonstrou ser uma ferramenta de grande potencial para subsidiar gestores públicos e comunidades locais. Esses mapas, derivados da análise de sensoriamento remoto com auxílio da IA, evidenciam não apenas a distribuição espacial das classes de uso e cobertura, mas também as áreas mais vulneráveis à degradação ambiental. Tal resultado converge com Rosa (2013), ao afirmar que as geotecnologias democratizam o acesso ao conhecimento territorial, fortalecendo a participação social nos processos

A validação dos resultados, realizada por meio de pontos de controle em campo e imagens de alta resolução do Google Earth, apresentou índices de concordância acima de 80%. Essa elevada precisão reforça a confiabilidade das metodologias empregadas, além de assegurar que

os resultados podem ser utilizados como subsídio técnico em processos de regularização fundiária e gestão ambiental. Esse procedimento de validação é destacado por Campbell e Wynne (2011) como etapa indispensável em estudos que pretendem fornecer suporte para políticas públicas.

Os mapas gerados revelaram ainda zonas de intensa transformação ambiental ao longo da última década, especialmente em municípios situados na porção oeste da Baixada Maranhense. O crescimento da agropecuária em áreas tradicionalmente alagáveis sugere impactos futuros sobre a biodiversidade, a hidrologia local e a subsistência das comunidades tradicionais. Esse cenário reforça a análise de Florenzano (2011), segundo a qual o sensoriamento remoto permite identificar, em escala regional, processos de degradação ambiental invisíveis a análises pontuais.

O emprego da inteligência artificial mostrou também grande potencial para automatizar processos de análise de dados em larga escala. Ao reduzir a dependência da interpretação manual, as técnicas de aprendizado de máquina aumentaram a velocidade de processamento e minimizaram a subjetividade. Esse aspecto é ressaltado por Goodfellow et al. (2016), que destacam a eficiência da IA em lidar com grandes volumes de dados, característica essencial para estudos ambientais em extensas regiões como a Baixada Maranhense.

No campo social, os resultados apontam para a necessidade de reconhecer a tecnologia como instrumento de garantia de direitos. A demarcação territorial apoiada em dados técnicos e científicos fortalece a luta de comunidades tradicionais pela preservação de seus espaços de vida. Esse aspecto corrobora a perspectiva de Almeida (2006), que entende a cartografia como linguagem de poder, capaz de legitimar ou negar direitos coletivos.

Do ponto de vista jurídico e administrativo, os dados produzidos podem apoiar processos de regularização fundiária e fiscalização ambiental. A acurácia dos resultados e a clareza das representações cartográficas fornecem bases objetivas para a tomada de decisão, reduzindo a margem de contestação em disputas territoriais. Isso reforça o que Assis (2017) aponta sobre a relevância das geotecnologias no fortalecimento da gestão territorial em contextos de vulnerabilidade.

Apesar dos resultados positivos, algumas limitações foram identificadas. A cobertura de nuvens em determinadas épocas do ano comprometeu a qualidade de algumas imagens, exigindo técnicas adicionais de correção e seleção temporal. Além disso, a validação em campo foi restrita a determinadas localidades, o que indica a necessidade de ampliar futuras campanhas de verificação. Essas limitações, entretanto, não comprometeram a consistência dos resultados gerais, mas apontam para caminhos de aprimoramento metodológico.

Em síntese, os resultados demonstram que a combinação de sensoriamento remoto e inteligência artificial representa uma ferramenta eficaz para a demarcação de territórios na Baixada Maranhense. Para além da dimensão técnica, os achados revelam implicações sociais e políticas, ao evidenciar disputas fundiárias, pressões ambientais e a urgência de políticas públicas mais consistentes. Assim, este estudo reafirma o potencial das tecnologias emergentes como aliadas na construção de soluções sustentáveis e justas para os desafios de ordenamento territorial na região.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo evidenciou que a integração entre ferramentas de sensoriamento remoto e técnicas de inteligência artificial constitui uma estratégia eficaz para a demarcação de territórios na Baixada Maranhense. A análise multitemporal das imagens, aliada ao uso de algoritmos como *Random Forest*, *Support Vector Machine* e redes neurais convolucionais, permitiu identificar padrões complexos de uso e cobertura do solo com elevada acurácia, mesmo em um contexto marcado por forte sazonalidade e diversidade ambiental.

Os resultados obtidos demonstraram não apenas o potencial técnico dessas ferramentas, mas também seu caráter estratégico para subsidiar políticas públicas, processos de regularização fundiária e ações de fiscalização ambiental. A produção de mapas temáticos e relatórios digitais mostrou-se relevante para a democratização do conhecimento territorial, possibilitando que gestores e comunidades tradicionais tenham acesso a informações confiáveis e atualizadas sobre a dinâmica de ocupação da região.

A pesquisa também revelou a sobreposição entre áreas de uso tradicional e zonas de expansão econômica recente, evidenciando conflitos fundiários e ambientais históricos na Baixada Maranhense. Esse achado reforça a compreensão de que a cartografia e a demarcação territorial não são apenas práticas técnicas, mas instrumentos políticos que influenciam diretamente na garantia de direitos sociais e na preservação ambiental.

Apesar dos avanços, o estudo identificou limitações associadas à cobertura de nuvens em determinadas épocas do ano e à restrição da validação em campo a áreas específicas. Tais aspectos apontam para a necessidade de pesquisas futuras que ampliem a base de dados, explorem novos algoritmos de inteligência artificial e integrem informações socioeconômicas às análises espaciais, fortalecendo ainda mais o caráter interdisciplinar da abordagem.

Conclui-se, portanto, que o uso combinado de sensoriamento remoto e inteligência artificial representa um caminho promissor para enfrentar os desafios de ordenamento territorial na Baixada Maranhense. Essa integração contribui não apenas para a preservação dos ecossistemas locais, mas também para a valorização dos modos de vida das comunidades tradicionais, consolidando-se como uma ferramenta indispensável para a construção de um modelo de desenvolvimento sustentável, justo e inclusivo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. D. de. **Cartografia**: representação e comunicação. São Paulo: Contexto, 2006.

ASSIS, L. F. de. **Geotecnologias aplicadas ao ordenamento territorial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

CAMPBELL, J. B.; WYNNE, R. H. **Introduction to Remote Sensing**. 5. ed. New York: Guilford Press, 2011.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. **Deep Learning**. Cambridge: MIT Press, 2016.

JENSEN, J. R. **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective**. 2. ed. New Jersey: Pearson, 2009.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

ROSA, R. **Geotecnologias na geografia aplicada**. 5. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

INSTITUTO DE
REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA
E PATRIMÔNIO IMOBILIÁRIO
DO PIAUÍ - **INTERPI**



GOVERNO DO
PIAUI
AQUI TEM TRABALHO.
AQUI TEM FUTURO.



Avanços e Desafios da Regularização Fundiária

APOIO

Fadex



PATROCÍNIO



JFIDA

Investindo nas populações rurais



45 ANOS
INTERPI



LESTU
Editora