

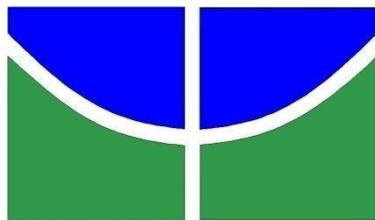


**AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DO SISTEMA DE MONITORAMENTO
DO DESMATAMENTO PRODES-CERRADO: ESTUDO DE CASO DO
ESTADO DE GOIÁS**

Débora Sally Peres Machado

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (UNB)

FACULDADE DE TECNOLOGIA (FT)

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL (EFL)

**AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DO SISTEMA DE MONITORAMENTO
DO DESMATAMENTO PRODES-CERRADO: ESTUDO DE CASO DO
ESTADO DE GOIÁS**

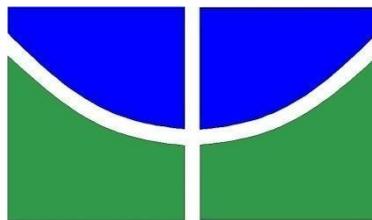
Débora Sally Peres Machado

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Brasília, Distrito Federal

19 de julho de 2023



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Engenharia Florestal - EFL

**AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DO SISTEMA DE MONITORAMENTO
DO DESMATAMENTO PRODES-CERRADO: ESTUDO DE CASO DO
ESTADO DE GOIÁS**

Estudante: Débora Sally Peres Machado

Matrícula: 16/0005051

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Menção:

Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Orientador (EFL)

Prof. Dr. Ricardo Gaspar de Oliveira
Universidade de Brasília – UnB
Membro da Banca

MSc. Clara Milena Concha Lozada
Universidade de Brasília – UnB
Membro da Banca
Brasília-DF, 19 de julho de 2023.

FICHA CATALOGRÁFICA

MM149a MACHADO, DÉBORA SALLY PERES
AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DO
DESMATAMENTO PRODES-CERRADO: ESTUDO DE CASO DO ESTADO DE
GOIÁS/ DÉBORA SALLY PERES MACHADO; orientador ERALDO APARECIDO
TRONDOLI MATRICARDI. - - Brasília, 2023. 31 p.
Monografia (Graduação - ENGENHARIA FLORESTAL) -- Universidade de Brasília,
2023.
1. Imagens de satélite. 2. Desmatamento. 3. Sistemas de monitoramento. 4. Cerrado. 5.
Geoprocessamento. I. EFL/FT/UnB. II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MACHADO, D. S. P. (2023). AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DO DESMATAMENTO PRODES-CERRADO: ESTUDO DE CASO DO ESTADO DE GOIÁS. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 186 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Débora Sally Peres Machado 1

TÍTULO: AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DO DESMATAMENTO PRODES-CERRADO: ESTUDO DE CASO DO ESTADO DE GOIÁS

GRAU: Bacharel em Engenharia Florestal ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Débora Sally Peres Machado

Departamento de Engenharia Florestal (EFL)-FT

Universidade de Brasília (UnB)

Campus Darcy Ribeiro

CEP 70919-970 – Brasília – DF – Brasil

AGRADECIMENTOS

À minha família, que sempre me apoiaram, incentivaram e orientaram com amor e dedicação, com atenção especial ao meu irmão, Me. Matheus, que tem minha admiração e foi meu exemplo para engajar na Universidade de Brasília. Também aos meus avós que me transmitiram valores, ensinamentos e carinho e são meus exemplos de vida, paciência e perseverança.

Aos amigos e amigas da vida e da UnB, por terem feito parte da minha história e da minha formação, principalmente a Ana Caroline e a Beatriz Christina pelos momentos que compartilhamos desde aulas, trabalhos, brincadeiras e até lágrimas.

À Universidade de Brasília e a todos os professores que me proporcionaram uma formação de qualidade e um ambiente de excelência.

Ao MapBiomias, onde fiz meu primeiro estágio e despertou a inspiração do presente estudo, além de incentivar a busca pelo conhecimento dos sistemas de monitoramento e geoprocessamento.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi, por me auxiliar nesse trabalho, com respeito, paciência e atenção, e pela sua amizade.

E, especialmente à Deus, por ter colocado todas essas pessoas meritórias no meu caminho e que me deu força, sabedoria e fé para vencer os desafios e as dificuldades desta conquista.

Como sou pouco e sei pouco, faço o pouco que me cabe me dando por inteiro(a).

(Suassuna)

RESUMO

O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul, ocupando 22% do território brasileiro, com diferentes fitofisionomias compostas por arbustos, herbáceas, cipós e árvores, caracterizadas por alta biodiversidade de flora e fauna. Este bioma tem sido intensamente desmatado nas últimas décadas, ficando atrás apenas do desmatamento que ocorre na Amazônia brasileira, que tem provocado vários distúrbios ambientais, ameaçando e levando à extinção algumas espécies e, conseqüentemente, a perda de biodiversidade. Neste contexto, os sistemas de monitoramento, usando dados de sensores remotos, têm sido de fundamental importância para o monitoramento, detecção e quantificação das áreas objetos de conversão de vegetação nativa em outros usos da terra. Entretanto, há incertezas sobre a acurácia desses sistemas de monitoramento por satélite, utilizados como apoio e base às ações de fiscalização, controle e preservação da natureza. Diante deste problema de pesquisa, o presente estudo envolveu a avaliação da acurácia dos dados de alertas de desmatamentos, ocorridos em 2020 e 2021, produzidos pelo sistema Prodes-Cerrado - desenvolvido para o monitoramento do desmatamento de todo o bioma Cerrado - tomando como área de estudo o Estado de Goiás. Para isso, utilizou-se dados de alertas pré-validados de desmatamento do Prodes-Cerrado, disponibilizados pelo projeto MapBiomas e conduzida a avaliação da acurácia e divergência destes alertas, tomando como referência séries temporais de imagens de alta resolução dos satélites Planet. Os resultados desta pesquisa indicam que, de um modo geral, 80% dos alertas foram confirmados como desmatamentos efetivos de vegetação natural. Observou-se ainda que houve redução do número de alertas, porém, houve pequena redução da área total desmatada no período analisado. Os alertas estavam majoritariamente localizados na região central do estado de Goiás, onde também estão concentradas as áreas de monocultivos em sistemas de agricultura de produção intensiva. O sistema de alerta do Prodes-Cerrado mostrou-se eficaz para os seus propósitos, consistindo numa importante ferramenta de produção de dados para o monitoramento ambiental com o objetivo de reduzir o desmatamento ilegal no bioma Cerrado.

Palavras-chave: Imagens de satélite; Desmatamento; Sistemas de monitoramento; Cerrado; Geoprocessamento.

ABSTRACT

The Cerrado, the second largest biome in South America, encompasses 22% of Brazil's territory and displays diverse phytophysiognomies comprising shrubs, herbs, vines, and trees. This biome is marked by rich biodiversity in both flora and fauna. Nonetheless, recent decades have witnessed extensive deforestation, second only to the deforestation rate seen in the Brazilian Amazon. This rampant deforestation has triggered various environmental disruptions, endangering, and even causing the extinction of certain species, consequently eroding biodiversity. Within this context, monitoring systems employing data from remote sensors play a pivotal role in detecting, tracking, and quantifying instances of native vegetation conversion to alternate land uses. Yet, uncertainties loom regarding the accuracy of these monitoring systems, which serve as aids for inspection, control, and nature preservation initiatives. In response to this research quandary, the current study centers on assessing the precision of deforestation alerts generated by the Prodes-Cerrado system for the years 2020 and 2021. This system, tailored for monitoring Cerrado's deforestation, is utilized with the State of Goiás serving as the study area. The study utilizes pre-validated deforestation alerts from Prodes-Cerrado, provided by the MapBiomas project. The accuracy and discrepancies of these alerts are evaluated against a time series of high-resolution images from Planet satellites. The outcomes of this research reveal that, overall, approximately 80% of the alerts were confirmed as instances of effective deforestation of natural vegetation. The study also notes a reduction in the count of alerts; however, there was only a marginal decrease in the total deforested area during the analyzed period. Predominantly, the alerts were concentrated in the central region of the Goiás state, which also hosts areas of monoculture and intensive agricultural production. The Prodes-Cerrado alert system has demonstrated its efficacy, serving as a significant tool for generating data to aid environmental monitoring and combat illegal deforestation within the Cerrado biome.

Keywords: Satellite images, deforestation, monitoring systems, Cerrado, geoprocessing.

SUMÁRIO

1.	11	
1.1.	Problema e Questões de Pesquisa.....	14
2.	15	
2.1.	15	
2.2.	15	
3.	15	
3.1.	15	
3.2.	18	
3.3.	18	
3.4.	21	
3.5.	21	
3.6.	22	
4.	22	
4.1.	23	
4.2.	25	
4.3.	27	
5.	29	
6.	30	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Delimitação geográfica e hidrografia do Cerrado.	11
Figura 2 - Áreas protegidas do Cerrado.	13
Figura 3 - Hidrografia do estado de Goiás	16
Figura 4 - Fluxograma do processo de validação, refinamento e publicação dos alertas de desmatamento.	20
Figura 5 - Alertas de desmatamento no Cerrado do Projeto Prodes-Cerrado e verificados pelo Projeto Mapbiomas.	24
Figura 6 - Alertas de desmatamento no estado de Goiás produzidos pelo Projeto Prodes-Cerrado e verificados pelo Projeto Mapbiomas	26
Figura 7 - Alertas de desmatamento reprovados, segregados por motivo da reprovação.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do Índice de Kappa	22
Tabela 2 - Área e número de alertas de desmatamento no Cerrado em 2020 e 2021.	25
Tabela 3 - Área a número de alertas de desmatamento no	27
Tabela 4 - Acurácia dos alertas de desmatamento do Projeto Prodes-Cerrado	27

1. INTRODUÇÃO

Segundo Ministério da Agricultura (2022), o Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul, ocupando uma área de 2.036.448 km², cerca de 22% do território nacional. A área contínua do Cerrado abrange parcial ou totalmente os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal, além de enclaves no Amapá, Roraima e Amazonas.

Conhecido popularmente como “o berço das águas”, o Cerrado abriga oito das doze bacias hidrográficas brasileiras (Figura 1), que resulta em um elevado potencial aquífero e favorece o desenvolvimento e manutenção de alta biodiversidade no planeta. Neste sentido, o Cerrado abriga 5% de todas as espécies, incluindo mais de 1.600 tipos de mamíferos, pássaros e répteis, e mais de 12 mil espécies de plantas (BERGMANN, 2021).

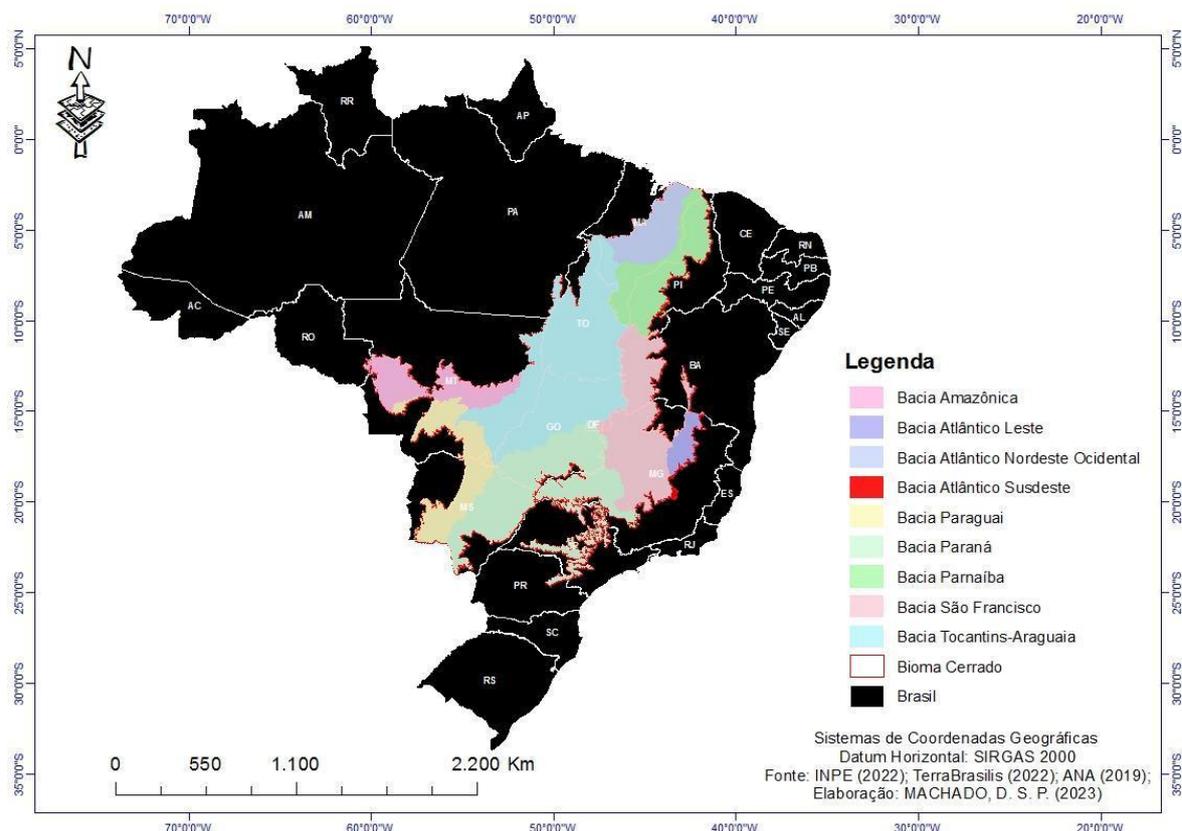


Figura 1 - Delimitação geográfica e hidrografia do Cerrado

Por sua alta biodiversidade e pressão antrópica, o Cerrado é considerado um dos mais importantes *hotspots* mundiais de biodiversidade, com alta abundância de espécies endêmicas

e sofre uma excepcional perda de habitat. Do ponto de vista da diversidade biológica, o cerrado brasileiro é reconhecido como a savana mais rica do mundo, abrigando 11.627 espécies de plantas nativas já catalogadas. Existe uma grande diversidade de habitats, que determinam uma notável alternância de espécies entre diferentes fitofisionomias. Cerca de 199 espécies de mamíferos são conhecidas, e a rica avifauna compreende cerca de 837 espécies. Os números de peixes (1200 espécies), répteis (180 espécies) e anfíbios (150 espécies) são elevados. O número de peixes endêmicos não é conhecido, porém os valores são bastante altos para anfíbios e répteis: 28% e 17%, respectivamente. De acordo com estimativas recentes, o Cerrado é o refúgio de 13% das borboletas, 35% das abelhas e 23% dos cupins dos trópicos (REDE DE SEMENTES DO CERRADO, 2022).

Mais de 220 espécies têm uso medicinal e mais 416 podem ser usadas na recuperação de solos degradados, como barreiras contra o vento, proteção contra a erosão, ou para criar habitat de predadores naturais de pragas. Mais de 10 tipos de frutos comestíveis são regularmente consumidos pela população local e vendidos nos centros urbanos (MMA, 2022).

Contudo, inúmeras espécies de plantas e animais correm risco de extinção devido à conversão de áreas de vegetação nativa em áreas destinadas à agricultura ou pecuária. Nas três últimas décadas, o Cerrado vem sendo degradado pela expansão da fronteira agrícola brasileira. Além disso, o bioma Cerrado é palco de uma exploração extremamente predatória de seu material lenhoso para produção de carvão (MMA, 2022). Estima-se que 20% das espécies nativas e endêmicas já não ocorram em áreas protegidas e que pelo menos 137 espécies de animais que ocorrem no Cerrado estão ameaçadas de extinção. Depois da Mata Atlântica, o Cerrado é o bioma brasileiro que mais sofreu alterações com a ocupação humana. Com a crescente pressão para a abertura de novas áreas, visando incrementar a produção de carne e grãos para exportação, tem havido um progressivo esgotamento dos recursos naturais da região.

Apesar do reconhecimento de sua importância biológica, de ser *hotspot* mundial da biodiversidade, o Cerrado é o que possui a menor porcentagem de áreas sobre proteção integral. O Bioma apresenta 8,21% de seu território legalmente protegido por unidades de conservação; desse total, 2,85% são unidades de conservação de proteção integral e 5,36% de unidades de conservação de uso sustentável, incluindo RPPNs (0,07%) (MMA, 2022).

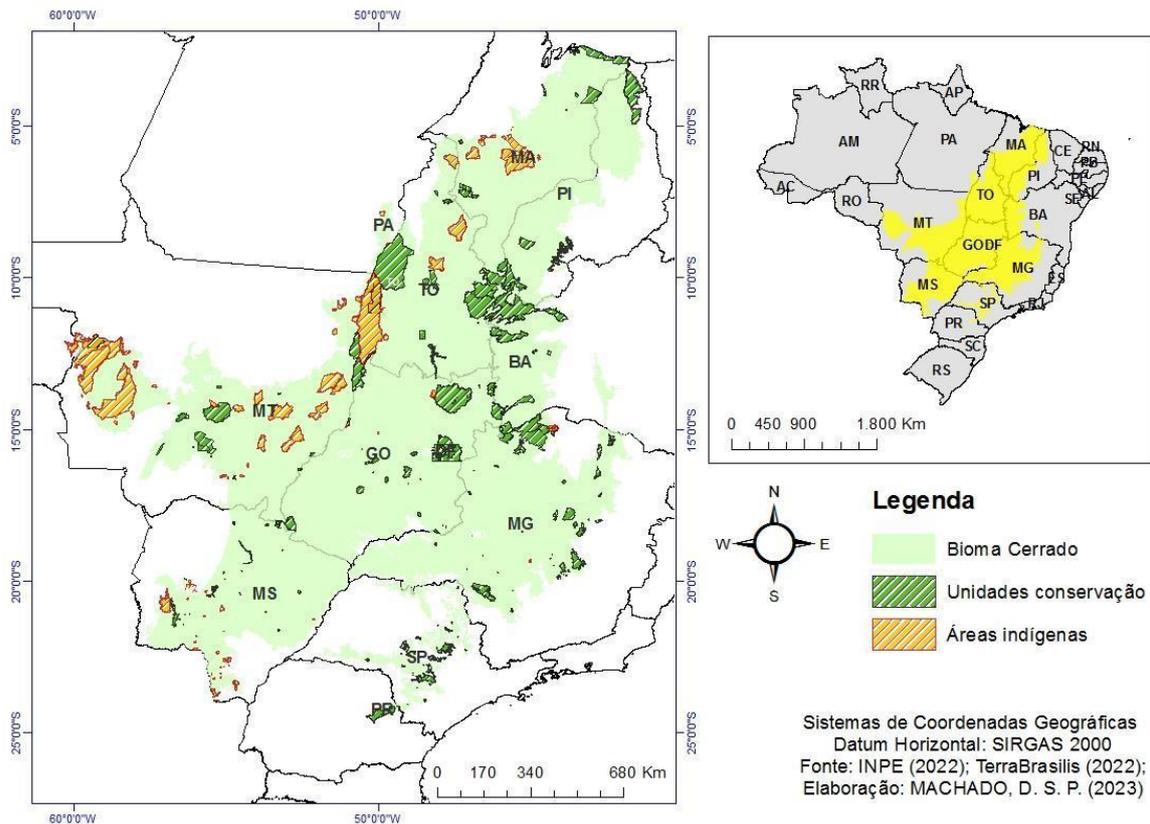


Figura 2 - Áreas protegidas do Cerrado

Não obstante, segundo dados do Projeto MapBiomias¹ o Cerrado foi o segundo lugar com maior área desmatada, com pouco mais de meio milhão de hectares (30%). Juntos, Amazônia e Cerrado representaram 89,2% da área desmatada detectada em 2021. Quando somada a Caatinga, os três biomas responderam por 96,2% das perdas. Os maiores aumentos em relação à área desmatada em 2020 ocorreram na Amazônia (126.680 hectares) e no Cerrado (83.981 hectares), enquanto em termos proporcionais, ocorreram na Caatinga (88,9%) e no Pampa (92,1%).

Em análise aos alertas de desmatamento feitos pelo Projeto Prodes-Cerrado, o Cerrado tem a participação de 9,9% no número total de alertas, entretanto, a área total desmatada representa quase um terço do total (30,2%) desmatado no país. Nos biomas Amazônia e Mata-Atlântica predomina o desmatamento em formações florestais. No Cerrado, na Caatinga, no Pampa e no Pantanal, predomina o desmatamento em formações não florestais.

Neste contexto, aponta-se o sistema Prodes-Cerrado, de monitoramento do desmatamento por satélite, como de altíssima relevância para apoiar a implementação das

¹ Disponível em: <https://mapbiomas.org/en/desmatamento-em-2021-aumentou-20-com-crescimento-em-todos-os-biomas-1?cama_set_language=em>. Acesso em: 4 de setembro de 2022.

políticas de comando e controle ambiental. O controle do desmatamento é crucial para a conservação da fauna e flora do bioma Cerrado, especialmente devido às altas taxas de desmatamento e incêndios verificadas nos últimos anos neste bioma. Apesar disso, é importante ser avaliado a acurácia do sistema de monitoramento, pois os erros de detecção podem comprometer a implementação das ações de monitoramento e fiscalização ambiental.

1.1. Problema e Questões de Pesquisa

Os dados disponibilizados pelo sistema Prodes-Cerrado para o MapBiomias são importantes para a implementação das ações de monitoramento e fiscalização ambiental no Cerrado, além de contribuir com as discussões das questões climáticas, estudos de fauna e flora. A consequência da retirada de vegetação afeta diretamente a ecologia do ambiente, a interrupção da geração destes dados traz riscos à preservação do cerrado, pois a redução do monitoramento e da fiscalização permite o aumento da exploração agrícola predatória.

O sistema disponibiliza para o MapBiomias polígonos de alertas de possíveis desmatamentos, possibilitando a avaliação do alerta, com imagens disponibilizadas pela Plataforma Planet/SCCON² de todos os dias do ano. Porém, os sistemas de monitoramento por satélite podem falhar devido a causas diversas, como é o caso quando são áreas de agricultura identificando apenas a retirada de vegetação, sendo um falso-positivo, ou quando há nuvens e não é possível visualizar a condição da vegetação, o que dificulta a detecção do desmatamento, aumentando os erros de classificação do que é disponibilizado na base de dados do desmatamento do estado de Goiás.

Devido à detecção de diversas áreas desmatadas a cada ano no bioma Cerrado, seja por utilização contínua, seja por haver um aumento mesmo do desmatamento ao longo do tempo, a avaliação dos alertas de desmatamento envolve certo grau de subjetividade. Para além da necessidade de qualificação profissional dos avaliadores e, em determinados casos, da fiscalização *in loco* pelos Órgãos competentes, verifica-se pertinente o contínuo avanço das tecnologias de geração de imagens.

Assim, busca-se como o presente estudo avaliar a acurácia dos alertas gerados automaticamente pelo sistema Prodes-Cerrado, tomando como área de estudo o estado de

² A Planet é uma corporação de benefício público, com centenas de satélites em órbita, capaz de obter imagens ortorretificadas com resolução de 3 metros de qualquer local da terra diariamente, através da constelação de satélites Dove que possuem o mesmo sensor, com quatro bandas espectrais e resolução radiométrica de 12 bits. Disponível em: <https://www.scccon.com.br/produtos/imagens-planet/>. Acesso em: 20 de setembro de 2022.

Goiás, tomando as seguintes questões como norteadoras da pesquisa: Qual a acurácia dos alertas do sistema Prodes-Cerrado para o estado de Goiás? Quais fatores podem afetar a acurácia na produção dos alertas do sistema?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a acurácia do sistema de monitoramento Prodes-Cerrado na detecção e quantificação do desmatamento no estado de Goiás, nos anos de 2020 e 2021.

2.2. Objetivo Específico

- Identificar as principais limitações e potencialidades do Prodes-Cerrado para o monitoramento do desmatamento no Cerrado, considerando aspectos técnicos e operacionais;
- Analisar a acurácia do sistema Prodes-Cerrado através dos alertas pré-validados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

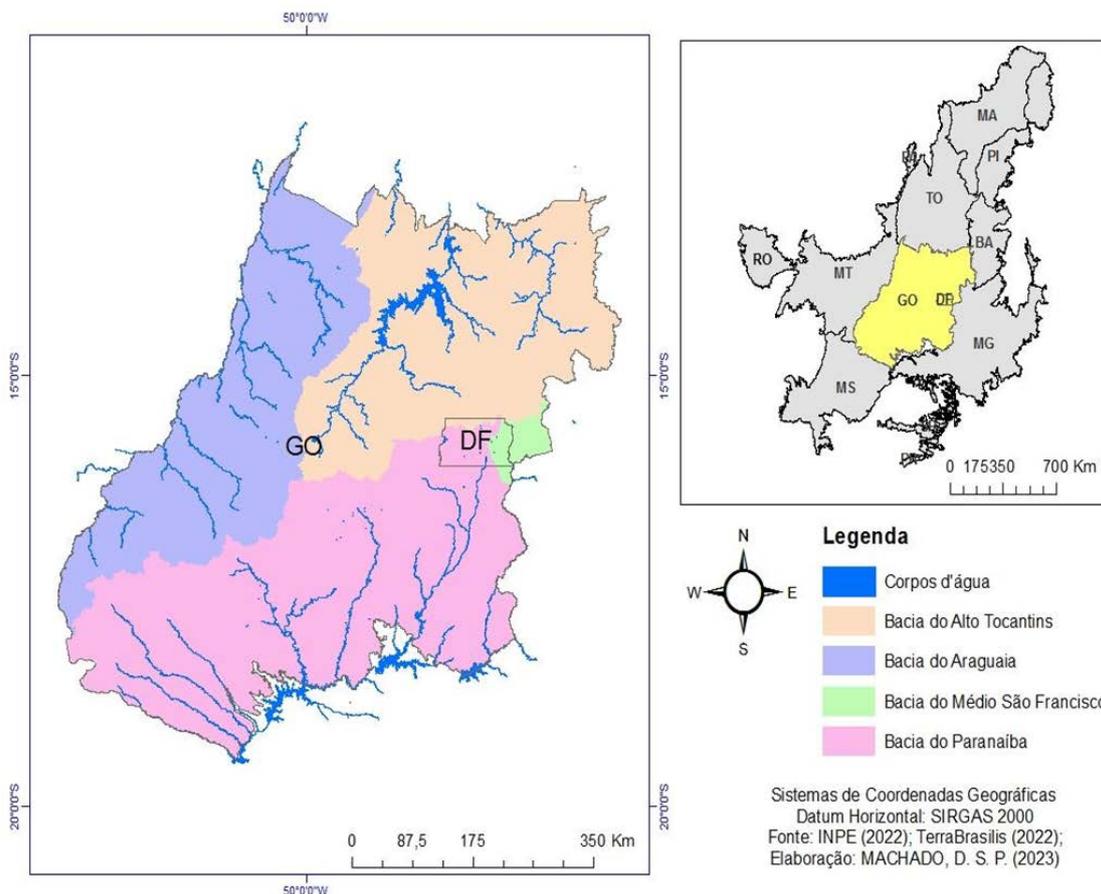
3.1. Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo inclui todo o território do estado do Goiás, que segundo o Codevasf (2021), apresenta uma população estimada em 7.113.540 habitantes dividida em 246 municípios, com área total de 340.125,40 km², densidade demográfica de 17,65 habitantes/km². O índice de desenvolvimento humano de 0,735.

O relevo predominante no estado de Goiás é de terras de baixas amplitudes altimétricas e, na maior parte, terras planas. Localizado no Planalto Central do Brasil, entre chapadas, planaltos, depressões e vales, 65% das terras de Goiás têm aptidão boa ou regular para lavouras. Cerca de 47% das terras têm aptidão para agricultura com alto nível de capital e tecnologia havendo a necessidade constante de emprego de práticas de conservação do solo (CODEVASF, 2021).

A hidrografia do estado de Goiás é composta por três grandes bacias hidrográficas principais, as quais são: Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (141.103,16 km²); Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins (195.925,16 km²) e Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (3.097,40 km²) (CODEVASF, 2021). Juntas, as bacias ocupam uma área total de

2.431.980,91 quilômetros quadrados. Deste espaço, 340.070,75 quilômetros quadrados estão em Goiás, o que representa 13,98% do total (CODEVASF, 2021). Os usos predominantes dos recursos hídricos no Estado são para o abastecimento público, para irrigações, para os distritos agroindustriais e pisciculturas (BORGES, 2006) (Figura 3).



Fonte: Adaptado de INPE (2022), TerraBrasilis (2022) e SIEG GO (2022).

Figura 3 - Hidrografia do estado de Goiás

O Estado possui aquíferos, o que lhe confere uma reserva expressiva de águas subterrâneas, tendo em seu território inclusive áreas de recarga do aquífero Guarani (CODEVASF, 2021). O clima do Estado de Goiás é o Tropical semi-úmido. As temperaturas médias anuais variam entre 23°C, ao Norte, e 20°C ao Sul. Com relação à precipitação a média anual varia entre 1.100 e 2.300 mm (CODEVASF, 2021).

Segundo Nimer (1989) o clima do Estado, na sua maior parte é classificado como quente e subúmido, tendo quatro a cinco meses secos. Apresenta características monçônicas, as chuvas ocorrem em cerca de 80% de novembro a março, sendo os meses de maio a setembro, os meses mais secos, a umidade relativa do ar geralmente fica abaixo de 70%. O

clima do Estado apresenta algumas peculiaridades, ou seja, a região sudoeste apresenta uma característica de sub-quente úmido e a noroeste apresenta uma faixa estreita como quente e úmido (NASCIMENTO, 1991), faixa onde o clima pode ser classificado como quente e úmido, e a sudoeste como sub-quente úmido (CODEVASF, 2021).

O solo de Goiás possui fertilidade natural variável de baixa a alta, dependendo do tipo de relevo e da rocha geradora. Predomina o grupo do tipo Latossolo, sendo que o Latossolo Vermelho ocupa a maior parte do território, seguido pelo Cambissolo e pelo Latossolo Vermelho Amarelo (CODEVASF, 2021).

A vegetação predominante no Estado de Goiás é a do tipo Cerrado, a qual caracteriza-se por árvores e arbustos de galhos tortuosos, cascas grossas, folhas cobertas por pelos e raízes muito profundas. Este Bioma cobre cerca de 70% do território goiano. Também, há pequenas áreas com a presença de formações florestais que são denominadas de Mato Grosso Goiano (IMB, 2018).

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro e da América do Sul, ficando atrás somente da Amazônia. Há a presença de 1/3 da biodiversidade nacional, ou seja, 5% da flora e da fauna mundiais. O Cerrado possui a mais rica savana do mundo e estudos indicam que há entre 4.000 a 7.000 espécies existentes neste bioma (IMB, 2018).

Dados de levantamento apontam que o estado de Goiás conta com 23 unidades de conservação de administração estadual. Em relação às áreas de proteção integral (uso restrito) o território possui 13 unidades, dentre essas, 12 são Parques Estaduais e a Estação Ecológica da Chapada de Nova Roma. No que se refere à categoria de Uso Sustentável, Goiás possui 10 unidades, constituídas por 8 Áreas de Proteção Ambiental (APA), a Floresta Estadual do Araguaia e a Área de Relevante Interesse Ecológico Águas de São João. Além disso, existe o Projeto de criação de mais cinco unidades de conservação por parte do Governo do Estado (SEMAD, 2019).

Estas áreas protegidas contribuem para a conservação da fauna, flora, recursos naturais e principalmente para manutenção da disponibilidade hídrica do Estado, pois é nestas áreas que se encontram os principais mananciais de abastecimento humano e das atividades produtivas do Estado (CODEVASF, 2021).

O Estado de Goiás possui um setor produtivo diversificado algumas delas são mecanização agrícola, apicultura, aquicultura e pesca, mandiocultura, economia criativa –

corte e costura, processamento de frutos e panificação, pecuária, cadeia produtiva de lácteos, cadeia produtiva sucroenergéticas, cadeia produtiva de grãos soja e milho, cadeia produtiva do setor têxtil, cadeia produtiva do algodão, cadeia produtiva do tomate e cadeia produtiva florestal (CODEVASF, 2021).

3.2. PRODES-Cerrado

O Projeto de Monitoramento do Desmatamento do Cerrado (PRODES-cerrado) foi desenvolvido e tem sido implementado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Este projeto consiste no mapeamento anual do desmatamento para toda a extensão do bioma Cerrado desde 2000. O projeto utiliza 118 imagens do satélite Landsat ou similar para identificar, mapear e quantificar as áreas maiores que 1 hectare onde a vegetação nativa foi suprimida, independente da utilização subsequente dessas regiões, levando em conta os limites dos biomas em escala 1:250.000 (para o Cerrado, subtraída a área de sobreposição com a Amazônia Legal) (INPE, 2022a; MapBiomas, 2022c).

Os satélites de observação da Terra da série Landsat são dotados de câmeras com diferentes resoluções espaciais (como as câmeras fotográficas digitais). Essas câmeras registram imagens da Terra e as enviam para as estações de recepção de imagens de satélite. Após a recepção, as imagens são geradas e processadas para que possam ser analisadas pelos especialistas. Conforme a textura da vegetação e/ou terreno que aparece na imagem, é possível identificar o tipo de cobertura daquela área e, assim, estabelecer se é floresta, outro tipo de vegetação, ou terra totalmente descoberta (desmatada) (INPE, 2022b).

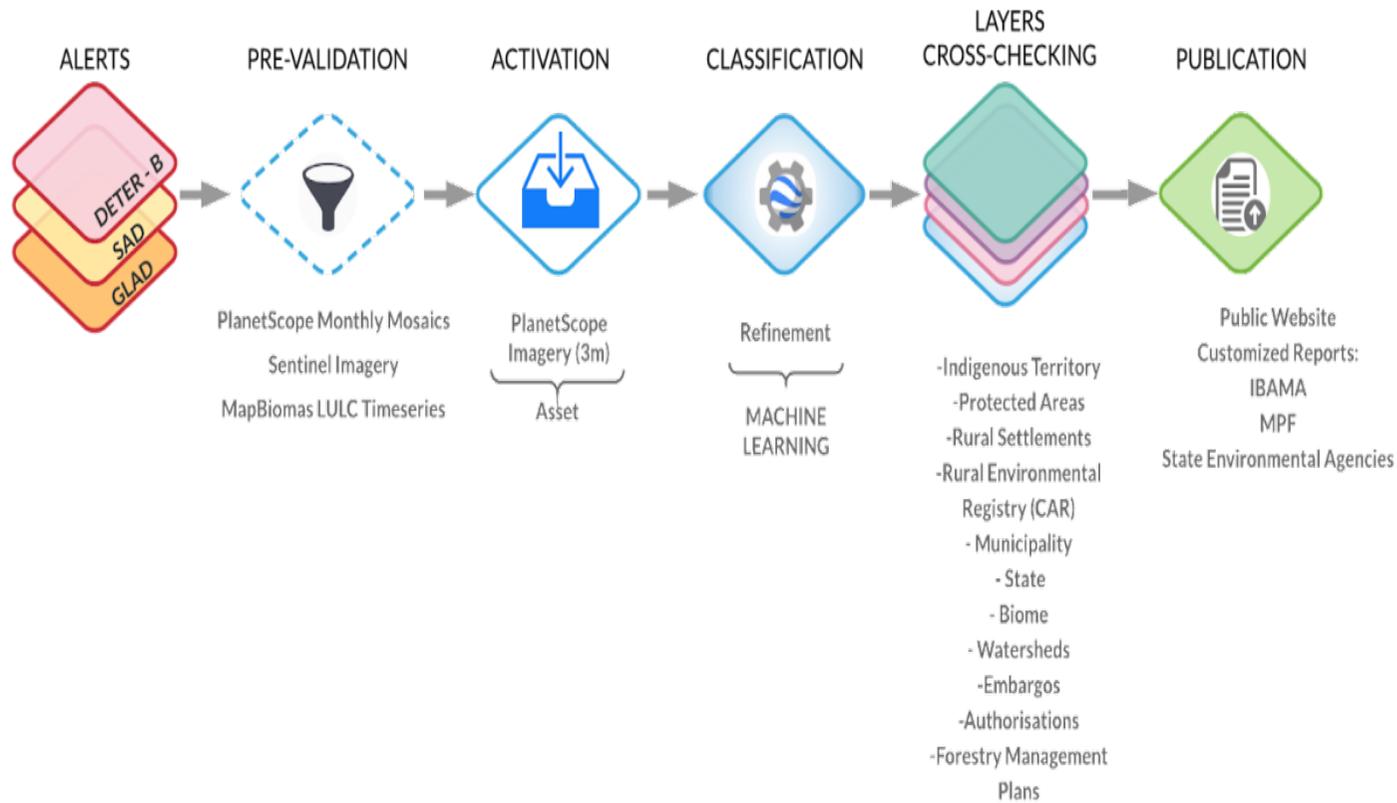
3.3. MapBiomas

O projeto MapBiomas é uma iniciativa do Observatório do Clima, co-criada e desenvolvida por uma rede multi-institucional envolvendo universidades, ONGs e empresas de tecnologia com o propósito de mapear anualmente a cobertura e uso da terra do Brasil e monitorar as mudanças do território (MAPBIOMAS, 2022b).

O MapBiomas envolve pesquisadores e especialistas em sensoriamento remoto, ciência da computação e dos biomas e dos principais usos da terra do país. Esta equipe trabalha em seus escritórios e laboratórios espalhados por várias cidades brasileiras incluindo Belém, Recife, Florianópolis, São Paulo, Brasília, Goiânia, Feira de Santana e Porto Alegre. Todo o trabalho é feito utilizando computação em nuvem através da plataforma Google Earth Engine (MAPBIOMAS, 2022b).

A metodologia utilizada dos alertas no MapBiomias inclui o cruzamento do desmatamento com os limites geográficos (como biomas, estados, municípios e bacias hidrográficas), recortes fundiários (como Cadastro Ambiental Rural, Unidades de Conservação e Terras Indígenas) e situação administrativa (como existência de autorização, autuação ou embargo). O resultado é um laudo completo para cada evento de desmatamento detectado no Brasil, podendo destacar as áreas de acordo com a demanda e o interesse ao monitoramento (MAPBIOMAS, 2022c).

O Projeto Mapbiomas análise em detalhes os alertas do sistema Prodes-Cerrado, buscando o seu refinamento e validação. Uma vez validados e refinados com imagens de alta resolução, os alertas são cruzados com informações fundiárias e de fiscalização, como territórios indígenas, unidades de conservação, assentamentos rurais, territórios quilombolas, áreas do Cadastro Ambiental Rural (CAR), entre elas Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL), além de áreas de embargos, autorizações de supressão e plano de manejo florestal do Sinaflor do Ibama. Também são localizados os alertas em limites geográficos como biomas, estados, municípios e bacias hidrográficas (MAPBIOMAS, 2022c). Adiante, verifica-se fluxograma de todo o processo que envolve a publicação dos laudos pelo MapBiomias.



Fonte: MapBiomas (2023).

Figura 4 - Fluxograma do processo de validação, refinamento e publicação dos alertas de desmatamento

Todos os dados e laudos são disponibilizados de forma pública, aberta e gratuita em plataforma web para que órgãos de fiscalização, agentes financeiros, empresas e sociedade civil possam agir para reduzir o desmatamento ilegal (MAPBIOMAS, 2022c).

3.4. Base de Dados

O presente estudo parte dos alertas de desmatamento gerados para o estado de Goiás, emitidos pelo Prodes-Cerrado e disponibilizados pelo MapBiomias, em 2020 e 2021. Estes alertas foram verificados um a um e analisados no período entre novembro de 2021 e novembro de 2022. As atividades fizeram parte de um estágio realizado em parceria da Universidade de Brasília – UnB, Fundação Tecnologia Florestal e Geoprocessamento (FUNTEC-DF) e Projeto Mapbiomas.

Os dados do desmatamento foram acessados e baixados no site do INPE e do MapBiomias Alerta que faz o uso do sistema Prodes-Cerrado para avaliar os alertas gerados pelo sistema de monitoramento. As bases auxiliares utilizadas na delimitação do presente estudo e para o mapeamento digital foram obtidas em bancos de dados geográficos pela plataforma TERRABRASILIS do INPE. Além disso, foram utilizados os dados disponibilizados para os analistas do MapBiomias para o controle da quantidade de alertas feitos mensalmente no período supracitado.

3.5. Processamento de Dados

Os dados dos alertas de desmatamento foram disponibilizados na plataforma SCCON aos analistas, onde faz-se o julgamento dos alertas. Quando o alerta é um desmatamento, o analista escolhe imagens de julho de 2018 até a data da estagnação do desmatamento e aprova para o refinamento. Quando o alerta não é um desmatamento, é reprovado, podendo ser julgado como reflorestamento, sazonalidade, agricultura, queimada, sombra de relevo, disponibilidade de imagens, duplicado ou já alterado.

O código dos alertas feitos pelos analistas é registrado na planilha de controle, onde é feito o levantamento dos alertas validados, rejeitados, indefinidos, pendentes e o total avaliado por cada um. Após esta etapa, quando aprovado como desmatamento, é feito o refinamento do alerta no Espaço de Trabalho de Alertas e avaliado pelos supervisores, onde são feitas as análises espaciais. Conforme apresenta o MapBiomias acerca das análises espaciais, são realizadas:

Com operações dentro do banco de dados são efetuados os cruzamentos espaciais dos alertas com diversos mapas temáticos (e.g. CAR, Unidades de Conservação, Terras Indígenas, Assentamentos, autorizações de desmatamento e embargos) e disponibilizados pelo dashboard, APIs de acesso remoto e geração dos laudos, ou para serem refeitos algum dos passos anteriores (MAPBIOMAS, 2022b).

Quando reprovados, não é necessária a etapa do refinamento, de modo que os alertas são descartados pelos supervisores.

3.6. Acuracidade dos dados

Com os dados dos alertas de desmatamento pré-validados disponibilizados na plataforma SCCON aos analistas foi calculado o índice de acuracidade (número de itens corretos/total de itens verificados x 100), representando a confiabilidade e qualidade das informações presentes no sistema de controle. E a divergência foi calculada diminuindo o valor total pelo valor resultante do índice de acuracidade.

E a partir do Índice de Kappa 1999 foi feita a classificação da acurácia do sistema Prodes-Cerrado, avaliada neste estudo.

Tabela 1 - Classificação do Índice de Kappa

Valor de Kappa	Nível de concordância
$K \leq 0,4$	Pobre
$0,41 < k \leq 0,6$	Razoável
$0,61 < K \leq 0,8$	Boa
$K > 0,81$	Excelente

Fonte: Adaptado de Colgaton e Green (1999).

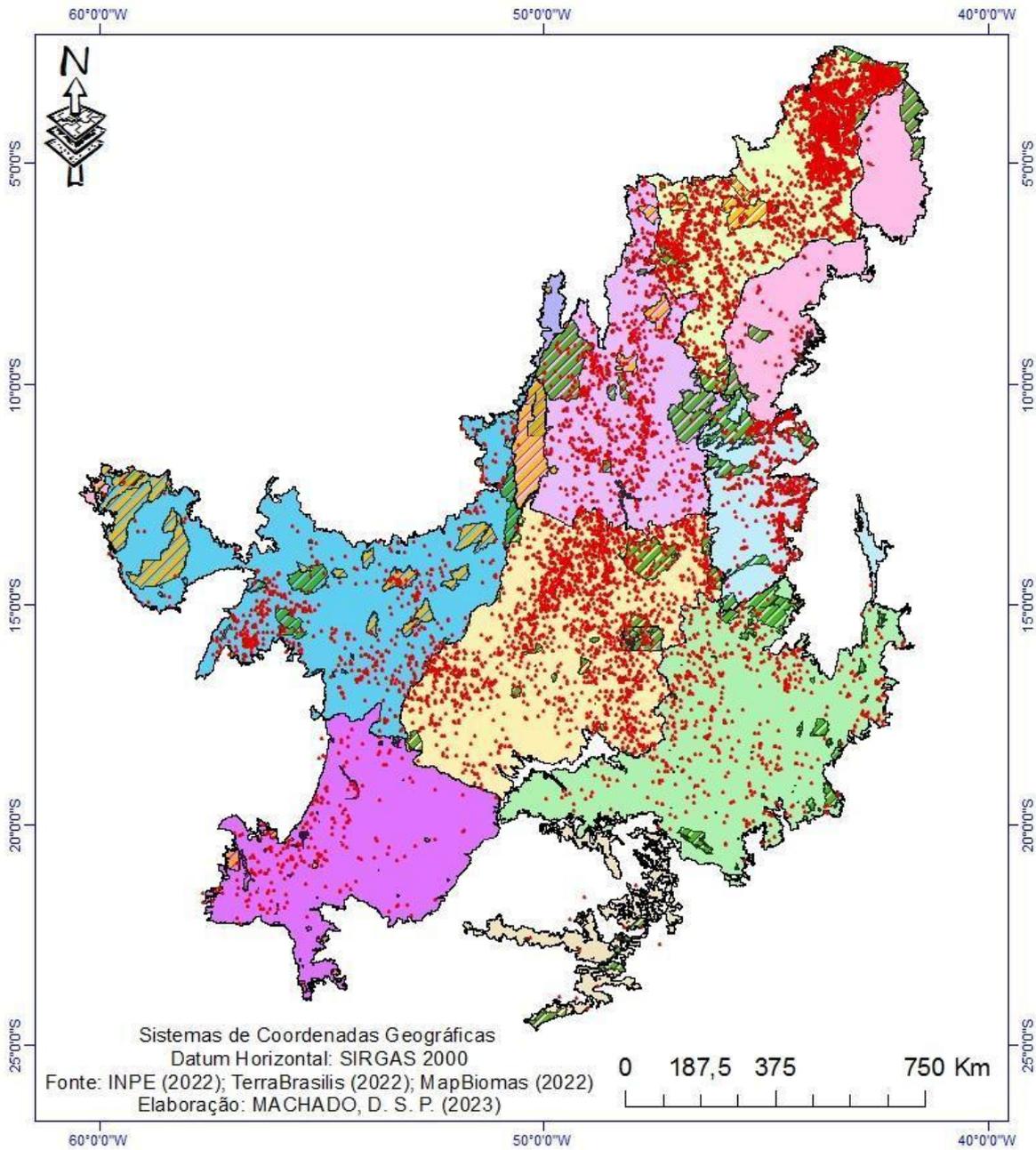
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, estão apresentados os dados relativos ao desmatamento do Cerrado como um todo e no estado de Goiás nos anos de 2020 e 2021. Esses dados são úteis para a discussão do objeto de estudo em função da relevância ambiental das áreas desmatadas e do papel do Prodes-Cerrado para o seu monitoramento.

São apresentados também os resultados aferidos por meio da avaliação dos 943 alertas de desmatamento no Goiás, gerados pelo Prodes-cerrado, que compõem a amostra de dados deste estudo conforme tratado no capítulo anterior (Material e Métodos). Este total de alertas avaliados foram adotados como base de dados para o presente estudo, de modo que avaliamos a acurácia do sistema Prodes-Cerrado por meio dessa amostra.

4.1. Desmatamento do Cerrado em 2020 e 2021

Adiante são apresentados a figura e a tabela com todos os alertas de desmatamento do Prodes-Cerrado, analisados pelo Projeto MapBiomas Alertas em 2020 e 2021.



Legenda



Figura 5 - Alertas de desmatamento no Cerrado do Projeto Prodes-Cerrado e verificados pelo Projeto Mapbiomas

Tabela 2 - Área e número de alertas de desmatamento no Cerrado.

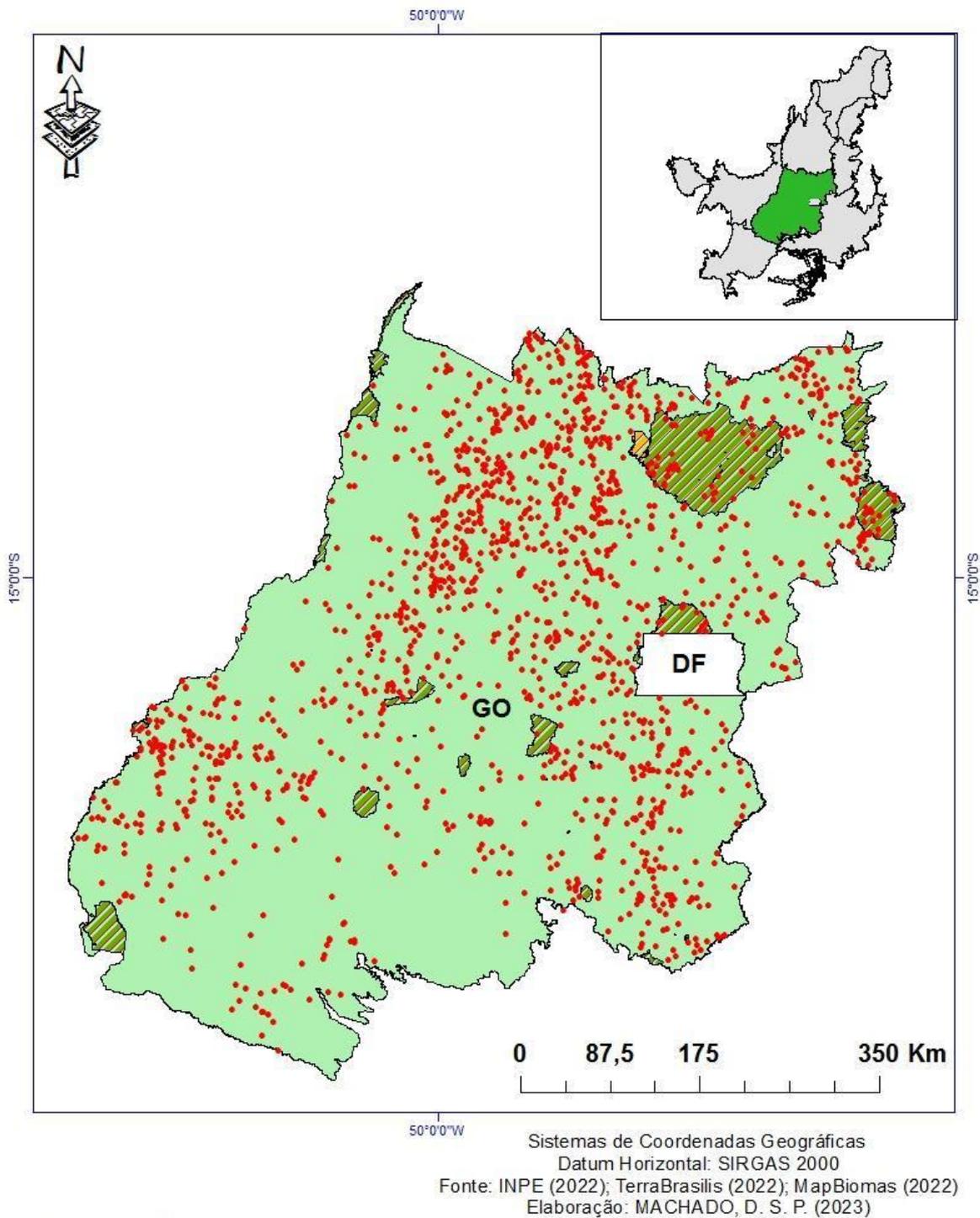
Alertas / Anos	2020	2021	Diferença (%)
Hectare	55.867,19	55.609,33	-0,5
Nº	5125	386	-1228

Fonte: Adaptado do MapBiomas (2023)

Os dados do MapBiomas apontam para a diminuição no número de alertas de desmatamento nesse período. Entretanto, como se observa na Tabela 2, o desmatamento do cerrado como um todo foi elevado. Observou-se uma pequena diminuição de 0,5% do total das áreas desmatadas detectadas pelo sistema Prodes-Cerrado, enquanto houve alta redução do número de alertas emitidos. Portanto os alertas têm apontado áreas de desmatamento mais extensas (MAPBIOMAS, 2022c).

4.2. Alertas de Desmatamento detectados no estado de Goiás em 2020 e 2021

A figura a seguir apresenta os alertas emitidos pelo Prodes-Cerrado do estado de Goiás de 2020 e 2021, publicados pelo MapBiomas, indicando que a menor parte dos alertas estão localizados mais ao sul de Goiás, onde as áreas são de predominância rural e públicas.



Legenda

- Alertas
- Estado de Goiás
- Áreas indígenas
- Unidades de conservação

Figura 6 - Alertas de desmatamento no estado de Goiás produzidos pelo Projeto Prodes-Cerrado e verificados pelo Projeto Mapbiomas

Diferente da tendência observada para todo o país, foram registrados 1515 e 85 alertas de desmatamentos em 2020 e 2021 no estado de Goiás, uma redução de mais de 1600%. Neste caso, a área também foi substancialmente reduzida de mais de 17,6 mil hectares em 2020 para pouco mais de 1,7 mil hectares em 2021, uma redução de 921% em áreas dos alertas (Tabela 3).

Tabela 3 - Área e número de alertas de desmatamento no estado de Goiás

Alertas / Anos	2020	2021	Diferença (%)
Hectare	17.663,27	1.729,71	-921,2
Nº	1515	85	-1682

Fonte: Adaptado do MapBiomias (2023)

A diminuição do desmatamento no estado de Goiás nos últimos anos, pode não ter sido só em virtude do monitoramento e fiscalização, vale lembrar que em 2020 e 2021 houve a pandemia da Covid-19 e por consequência do isolamento da população, tiveram mudanças drásticas no trabalho, impactando a economia e a política, e podendo ter afetado na diminuição do desmatamento. No entanto, as áreas suprimidas ilegalmente detectadas pelo sistema, são autuadas, o que reforça a importância desses sistemas de detecção de desmatamento para dar suporte às atividades de monitoramento e fiscalização ambiental.

4.3. Resultados da amostra analisada

Foram avaliados 943 alertas, dos quais 761 foram aprovados e 182 reprovados, apresentando a acurácia de 80,7% e divergência de 19,3%. O que mostra, segundo o índice de Kappa (Tabela 1), um resultado de boa acurácia do sistema de detecção de desmatamento desenvolvido pelo Projeto Podes-Cerrado (Tabela 4).

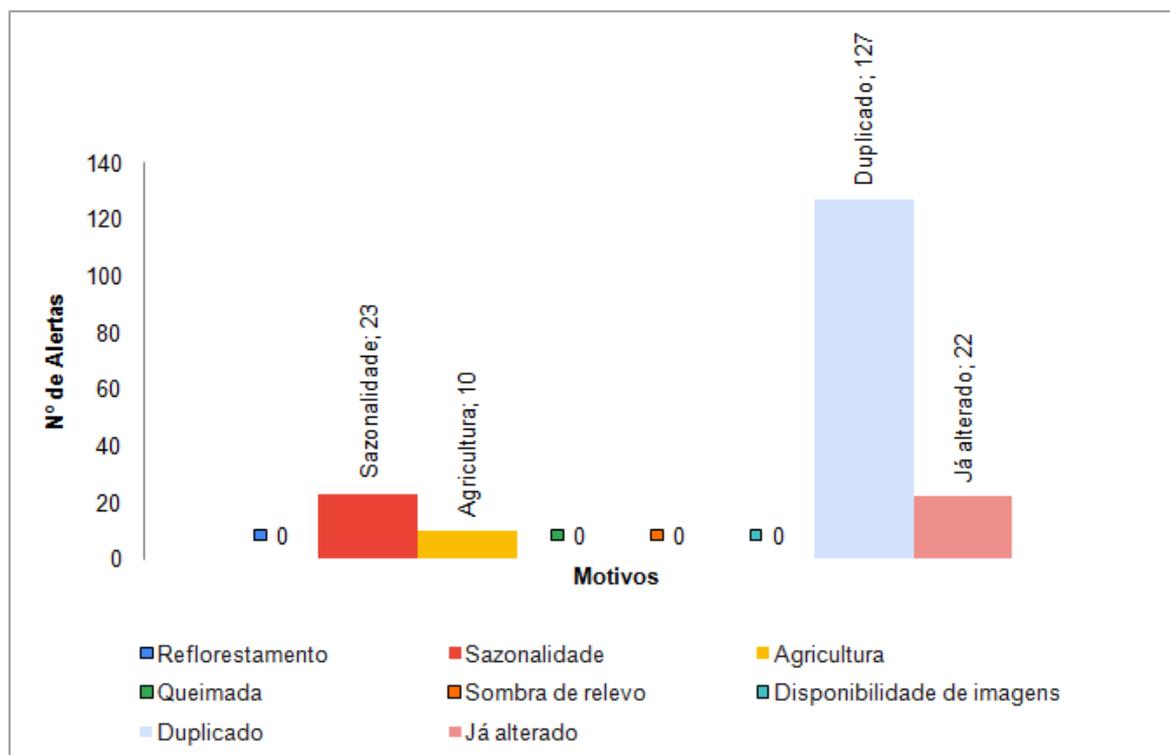
Tabela 4 - Acurácia dos alertas de desmatamento do Projeto Prodes-Cerrado

Alertas	Quantidade	Percentual de avaliação
Aprovados	761	80,7%
Reprovados	182	19,3%
Total	943	100%

Fonte: Adaptado do Projeto MapBiomias (2023)

Em análise dos motivos das reprovações dos alertas analisados para o estado de Goiás, observou que 22 foram por sazonalidade, 10 por agricultura, 127 por duplicação

(polígonos de áreas desmatadas com data e localização muito próximas umas das outras, aprovando a de maior extensão e reprovando as outras por tal motivo), incluindo, as áreas que estavam desmatadas. Ou seja, as áreas que já estavam alteradas e foram novamente detectadas pelo sistema como novo desmatamento, totalizando 181 alertas reprovados.



Fonte: Adaptado do Projeto MapBiomas (2023)

Figura 7 - Alertas de desmatamento reprovados, segregados por motivo da reprovação

Quanto aos alertas aprovados, significa que foram constatadas áreas de novos desmatamentos e, subsequentemente, foram submetidos ao refinamento e podem ser publicados pelo MapBiomas e utilizados pelos Órgãos fiscalizadores para as devidas medidas legais e administrativas cabíveis a cada caso.

O percentual de geração de imagens com baixa resolução, com empecilhos ou a emissão de alertas falso-positivos reforçam, por um lado, a constante necessidade da avaliação e correção de erros, realizada pelos analistas. E, por outro lado, mostra a importância do contínuo aperfeiçoamento dos sistemas de monitoramento, com resoluções de imagens temporais e digitais que colaborem com a geração de dados mais precisos e confiáveis, permitindo a elaboração de laudos e relatórios de maior exatidão aos Órgãos fiscalizadores, diminuindo a superestimação e subestimação dos resultados.

5. CONCLUSÃO

No presente estudo, observou-se que os alertas de desmatamento gerados pelo Projeto Prodes-Cerrado apresentam uma acurácia global de 80,8%, considerada uma boa acurácia do classificador automático daquele Projeto.

Constatou-se que os alertas reprovados por duplicação foram os que mais afetaram a acurácia do sistema, seguido por sazonalidade e agricultura. Entretanto, os produtos disponíveis são considerados de boa qualidade de acurácia, com alta probabilidade de detectar corretamente os desmatamentos e oferecer bons subsídios às ações de fiscalização e monitoramento do desmatamento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERGMANN, Carine. **Importância e preservação do cerrado brasileiro é tema da campanha "No Vaccine for Climate Change"**. Movimento Nacional ODS Santa Catarina, 2021. Disponível em: <<https://sc.movimentoods.org.br/2021/11/16/importancia-e-preservacao-do-cerrado-brasileiro-e-tema-da-campanha-no-vaccine-for-climate-change/>>. Acesso em: 4 de setembro de 2022.

CODEVASF- Companhia de Desenvolvimento Vales do São Francisco e do Parnaíba. **Caderno de caracterização estado de Goiás**. Brasília - DF, 2021.

COLGATON, R.G., GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 1999. 137 p.

IMB – Instituto Mauro Borges. 2018. Goiás em dados: Goiânia.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2022a. **Área de vegetação nativa suprimida no Bioma Cerrado no ano de 2021 foi de 8.531,44 km²**. Nota Técnica Prodes-Cerrado. Disponível em: < <https://www.gov.br/inpe/pt-br/> >. Acesso em: 4 de setembro de 2022.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2022. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>>. Acesso em: 05 de abril de 2023.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2022b. **Como o satélite "enxerga" o desmatamento? Perguntas Frequentes**. Disponível em: < <http://www.inpe.br/faq/index.php?pai=6>>. Acesso em: 20 de setembro de 2022.

MMA. Ministério do Meio Ambiente, 2022. **Cerrado**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/cerrado>>. Acesso em: 04 de setembro de 2022.

MAPBIOMAS – Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil. 2022a. **Aumento do desmatamento nos biomas brasileiros**. Disponível em: <<https://mapbiomas.org>>. Acesso em: 04 de setembro de 2022.

MAPBIOMAS – Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil. 2023. **MapBiomas alerta**. Disponível em: <<https://plataforma.alerta.mapbiomas.org/downloads>>. Acesso em: 05 de abril de 2023.

MAPBIOMAS – Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil. 2022c. **Método**. Disponível em: <<http://alerta.mapbiomas.org>>. Acesso em: 04 de setembro de 2022.

MAPBIOMAS – Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil. 2022b. **O Projeto**. Disponível em: <<http://alerta.mapbiomas.org>>. Acesso em: 04 de setembro de 2022.

NIMER, Edmon. 1989. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

REDE DE SEMENTES DO CERRADO. 2022. **O cerrado**. Disponível em: <<https://rededesementesdocerrado.org.br/o-cerrado>>. Acesso em: 04 de setembro de 2022.

SAVECERRADO. **Explicando a importância de preservar o cerrado para as crianças.** Save Cerrado, 2021. Disponível em: <<https://www.savecerrado.org/explicando-a-importancia-de-preservar-o-cerrado-para-as-criancas/>>. Acesso em: 04 de setembro de 2022.

SIEG. Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento de Goiás. 2022. Mapas temáticos do Estado de Goiás. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br/siegddownloads/>>. Acesso em: 29 de setembro de 2022.

SILVA, Micaela Almeida; ANJOS, Camila Souza dos. 2021. **Análise do sequestro de carbono na região do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros utilizando técnicas de sensoriamento remoto.** Revista Brasileira de Geomática, Curitiba, v. 9, n. 3, p. 251-270, jul./set. 2021.

TERRABRASILIS. 2022. **A Spatial Data Analytics Infrastructure for Large-Scale Thematic Mapping.** Disponível em: <<http://terrabilis.dpi.inpe.br/downloads/>>. Acesso em: 05 de abril de 2023.