

Programa de Pós-Graduação em
Conservação dos Recursos
Naturais do Cerrado



MAPA DAS FITOFISIONOMIAS DO PARQUE ESTADUAL DA SERRA DE CALDAS NOVAS

Vivianne Rodrigues da Silva





Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano

Reitor

Prof. Dr. Elias de Pádua Monteiro

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação e Inovação

Prof. Dr. Alan Carlos da Costa

Campus Urutaí

Diretor Geral

Prof. Dr. Paulo César Ribeiro da Cunha

Diretor de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação

Prof. Dr. Anderson Rodrigo da Silva

Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos

Naturais do Cerrado

Coordenadora

Prof^a. Dr^a. Debora Astoni Moreira

VIVIANNE RODRIGUES DA SILVA

**MAPA DAS FITOFISIONOMIAS DO PARQUE ESTADUAL DA SERRA DE
CALDAS NOVAS**

Produto técnico desenvolvido como trabalho de conclusão de curso e apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Conservação dos Recursos Naturais do Cerrado (Modalidade Mestrado Profissional) como requisito para a obtenção do título de Mestre em Conservação dos Recursos Naturais do Cerrado.

Linha de pesquisa: Conservação do Cerrado e Tecnologias Ambientais.

URUTAÍ-GO

2023

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

SSI586 Silva, Vivianne
m Mapa das Fitofisionomias do Parque Estadual da
Serra de Caldas Novas / Vivianne Silva; orientador
Anderson da Silva; co-orientador kenny de Oliveira. -
- Urutaí, 2023.
 28 p.

TCC (Graduação em Pós- Graduação em Conservação de
Recursos Naturais do Cerrado) -- Instituto Federal
Goiano, Campus Urutaí, 2023.

1. Classificação. 2. Random Forest. 3. PESCAN. I.
da Silva, Anderson, orient. II. de Oliveira, kenny,
co-orient. III. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

FOLHA DE APROVAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE MESTRADO

Título: Mapa das Fitofisionomias do Parque Estadual Serra de Caldas Novas - GO (PESCAN)

Autora: Vivianne Rodrigues da Silva

Orientador: Prof. Dr. Anderson Rodrigo da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso de Mestrado **APROVADO** em **21 de agosto de 2023**, como parte das exigências para obtenção do Título **MESTRE EM CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS DO CERRADO**, pela Banca Examinadora especificada a seguir:

Prof. Dr. Anderson Rodrigo da Silva	IF Goiano
Prof ^a . Dr ^a .Tânia Maria Moura	IF Goiano
Prof. Dr. Renato Paiva de Lima	ESALQ/USP

Documento assinado eletronicamente por:

- Renato Paiva de Lima, Renato Paiva de Lima - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Reitoria (10651417000178), em 22/08/2023 09:58:33.
- Tania Maria de Moura, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/08/2023 19:40:29.
- Anderson Rodrigo da Silva, DIRETOR(A) - CD0003 - DPGPI-UR, em 21/08/2023 19:13:35.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 21/08/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 523656

Código de Autenticação: a859d867b1



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Urutaí

Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2.5, SN, Zona Rural, URUTAÍ / GO, CEP 75790-000

(64) 3465-1900

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input checked="" type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: Mapa | |

Nome Completo do Autor: Vivianne Rodrigues da Silva

Matrícula: 2021101330940133

Título do Trabalho: Mapa das Fitofisionomias do Parque Estadual Serra de Caldas Novas-GO(PESCAN)

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: __/__/__

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
 VIVIANNE RODRIGUES DA SILVA
Data: 11/09/2023 11:19:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Caldas Novas, 04/09/2023.

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Documento assinado digitalmente
 ANDERSON RODRIGO DA SILVA
Data: 11/09/2023 11:49:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do(a) orientador(a)

RESUMO

A classificação das fitofisionomias do Cerrado constitui um desafio, seja pela dificuldade de discernir com clareza fronteiras das fitofisionomias, seja pela variabilidade espacial, similaridade espectral, frequência e intensidade de impactos. O monitoramento da dinâmica da cobertura do solo através de sensoriamento remoto tem se mostrado promissor na identificação de padrões espaciais e temporais da diversidade fitofisionômica. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi identificar e obter parâmetros relacionados às formações vegetais do Cerrado por meio de técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e aprendizado de máquina, visando à classificação das fitofisionomias para mapeamento do Parque Estadual da Serra de Caldas-PESCAN. Foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2A para o período seco (maio – setembro). Índices radiométricos foram extraídos. Polígonos espaciais das fitofisionomias Mata de Galeria, Vereda, Cerradão, Cerrado Típico, Cerrado Rupestre, Campo Rupestre, Campo Sujo e Solo Exposto foram amostrados *in loco* para gerar o conjunto de dados da classificação. Análise de agrupamento e de componentes principais foram realizadas de modo a selecionar índices representativos dos grupos formados e não redundantes. Os índices selecionados foram utilizados como preditores em um modelo de classificação supervisionada, usando o classificador *Random Forest*. O desempenho do classificador e da qualidade dos dados gerados foi avaliado por meio da acurácia global, do Índice *Kappa* e da matriz de confusão com os dados de teste. Obteve-se *Kappa* igual a 0,87 e acurácia de 90,5%. As confusões ocorreram principalmente entre fitofisionomias do mesmo grupo de formação vegetal e nas áreas de transição. A classificação possibilitou a confecção de um mapa com maior nível de detalhamento em termos de classes vegetacionais do que os atualmente disponíveis e utilizados, como os do MapBiomass e TerraBrasilis. Estima-se predominância de Cerrado Rupestre (40%) e Cerrado Típico (37%). O mapa, disponibilizado também em formato HTML, pode ser empregado como uma ferramenta de gerenciamento para o parque. O modelo treinado pode ser estendido para outras regiões. O produto técnico desenvolvido representa uma contribuição significativa para a conservação do bioma, bem como para pesquisas sobre a quantificação da diversidade de espécies e para a análise das mudanças nas formações vegetais.

Palavras-chaves: Classificação, Random Forest, PESCAN.

ABSTRACT

Classifying the Cerrado's phytophysiognomies is a challenge, due to the difficulty in clearly discerning phytophysiognomy boundaries and because of the spatial variability, spectral similarity, frequency and intensity of impacts. Monitoring the dynamics of land cover through remote sensing has shown considerable promise in identifying spatial and temporal patterns of phytophysiognomic diversity. In this context, the aim of this study was to identify and obtain parameters related to Cerrado plant formations using geoprocessing, remote sensing and machine learning techniques, with a focus on classifying the phytophysiognomies of the Serra de Caldas-PESCAN State Park. For this purpose, the Sentinel-2A satellite image was obtained for the dry season and Radiometric indices were extracted. Spatial polygons of the Gallery Forest, Vereda, Cerradão, Cerrado Típico, Cerrado Rupestre, Campo Rupestre, Campo Sujo and Solo Exposto phytophysiognomies were sampled in loco to generate the classification dataset. Cluster analysis and principal component analysis were carried out in order to select indices that were representative of the groups formed and not redundant. The selected indices were used as predictors in a supervised classification model, using the Random Forest classifier. The performance of the classifier and the quality of the data generated were evaluated by evaluating the overall accuracy, the Kappa Index and the confounding matrix with the test data. Kappa was 0.87 and accuracy of 90.5%. The confusions occurred mainly between phytophysiognomies of the same group of plant formation and in the transition areas. The classification allowed the preparation of a map with a higher level of detail in terms of vegetation classes than those currently available and used, such as those of MapBiomias and TerraBrasilis. It is estimated the predominance of Cerrado Rupestre (40%) and Cerrado Típico (37%). The map, also available in HTML format, can be used as a management tool for the park. The trained model can be extended to other regions. The technical product developed represents a significant contribution to the conservation of the biome, as well as to research on the quantification of species diversity and to the analysis of changes in plant formations.

Keywords: Classification, Random Forest, PESCAN.

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	11
2 O PRODUTO	13
3 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO	15
4 PERSPECTIVA E RELEVÂNCIA DO PRODUTO	22
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
6 REFERÊNCIAS	25
APÊNDICE A. GLOSSÁRIO	27
APÊNDICE B. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	29

1 APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi produzido como trabalho de conclusão de curso de Mestrado Profissional em Conservação dos Recursos Naturais do Cerrado do Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí. Trata-se de um produto técnico do tipo mapa, contendo a classificação supervisionada da vegetação do Parque Estadual da Serra de Caldas Novas – PESCAN, em Caldas Novas, Goiás.

Foram utilizados métodos de aprendizado de máquina e dados de sensores orbitais a bordo de satélites. Com base nisso, elaborou-se um mapa temático das fitofisionomias do bioma Cerrado presentes no PESCAN. O resultado foi comparado com os mapeamentos dos projetos MapBiomas e TerraBrasilis.

A motivação para a realização do trabalho sobre este tema foi a necessidade de automatizar a classificação da vegetação do Cerrado, com a expectativa de produzir um produto com um nível mais refinado de categorização de classes que os produtos já disponíveis. Isso tem como objetivo apoiar as atividades de licenciamento e fiscalização ambiental no município de Caldas Novas, Goiás.

Como área de estudo modelo, devido à sua diversidade de fitofisionomias, optou-se a pela Unidade de Conservação de Proteção Integral PESCAN, que abrange uma extensão de 122,56 km² dentro do Bioma Cerrado.

O Cerrado brasileiro é um extenso e complexo bioma, caracterizado pela coexistência de comunidades vegetais que formam um grande mosaico. Esse mosaico é resultado das rápidas e bruscas transformações espaço temporais na vegetação. A classificação das fitofisionomias do Cerrado é desejável para identificar os padrões espaciais e temporais da sua diversidade funcional, e essencial para estudos ecológicos de conservação de espécies, dinâmica de uso e cobertura do solo, e transição entre tipologias vegetais. Além disso, a classificação por meio de técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e mineração de dados é de baixo custo, rápida aplicação e alta precisão de mapeamento.

A principal complicação para essa classificação se deve ao fato de que qualquer categoria dentro de uma classificação fisionômica da vegetação do Cerrado é, na verdade, um segmento de uma série vegetacional contínua (OLIVEIRA FILHO; RATTER, 2002). A classificação das fitofisionomias tem se constituído um desafio entre os pesquisadores da vegetação do Cerrado, seja pela dificuldade de discernir com clareza as fronteiras das

fitofisionomias, seja pela variabilidade espacial, similaridade espectral, alterações e frequência e intensidade de impactos (NISHIKAWA *et al.*, 2002; JACON *et al.*, 2017; TONIOL *et al.*, 2017; RUIZ, 2022).

A Tabela 1 apresenta estudos recentes de classificação supervisionada das fitofisionomias do Cerrado, realizados em áreas de unidades de conservação.

Tabela 1- Relação de estudos de classificação supervisionada das fitofisionomias do Cerrado

Autor	Area De Estudo	Tipo de Publicação	Ano
BATISTA, F.R.Q.	Parque Nacional das Emas	Artigo	2019
DI GIROLAMO NETO, C.	Parque Nacional de Brasília	Tese	2018
RUIZ, I.H.	Estação Ecológica Águas Emendadas	Dissertação	2022

A identificação e classificação da vegetação resultaram em um mapa temático das fitofisionomias do Cerrado presentes no PESCAN. Esse mapeamento, além de permitir estudar a distribuição espacial da vegetação, facilita a identificação de espécies, ajuda a entender a dinâmica espaço-temporal de comunidades, auxilia no manejo do Parque, bem como em ações de fiscalização, coerção de ameaças, valoração pecuniária, entre outros.

O objetivo deste estudo foi identificar e obter parâmetros relacionados às formações vegetais do Cerrado por meio de técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e aprendizado de máquina, visando à classificação das fitofisionomias para mapeamento do Parque Estadual da Serra de Caldas-PESCAN.

2 O PRODUTO

O resultado da classificação das fitofisionomias do Cerrado presentes no PESCAN está na Figura 2

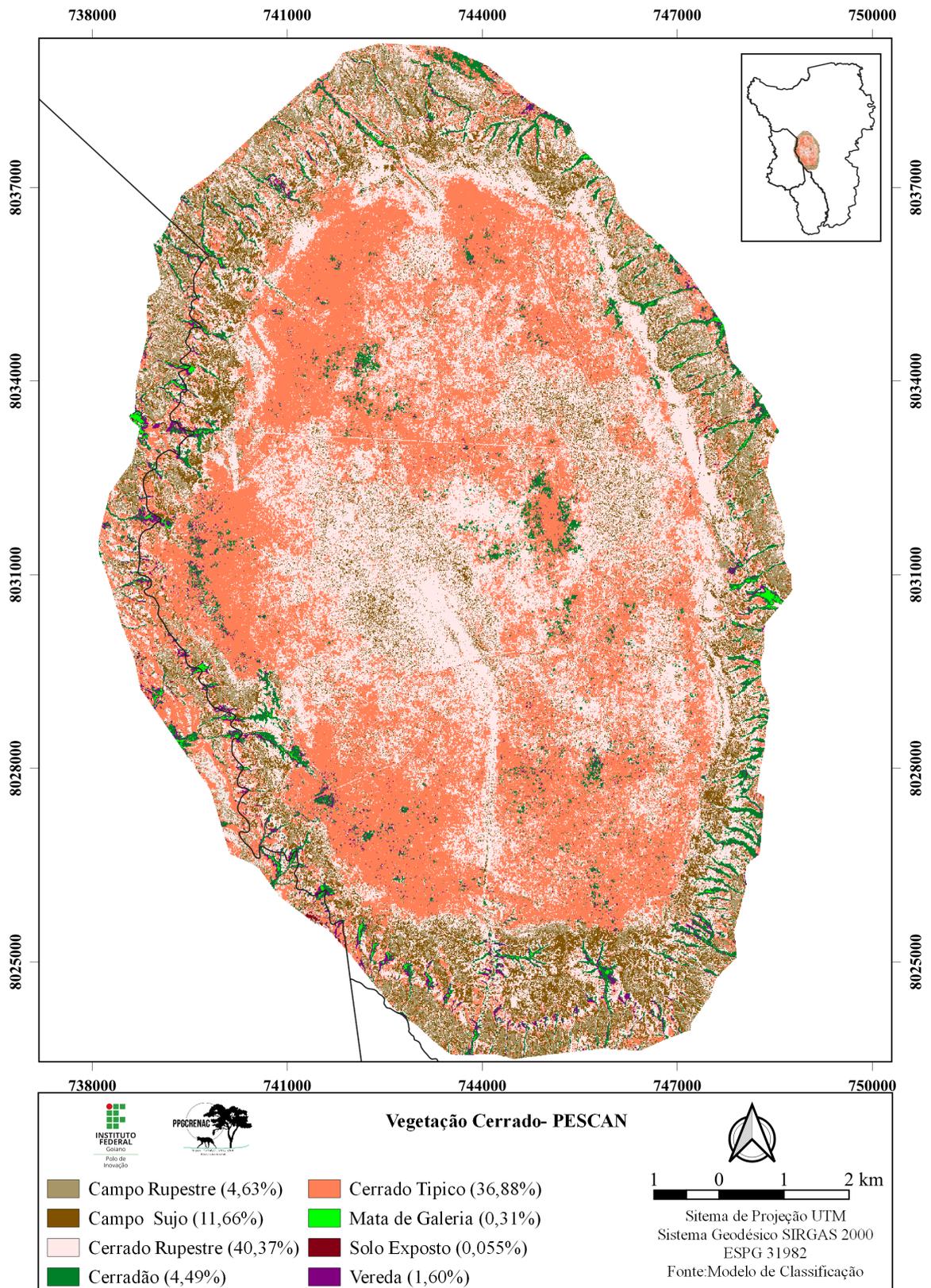


Figura 1 - Mapeamento das fitofisionomias do Cerrado no PESCAN pelo modelo de classificação *Random Forest*

3 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

O trabalho de campo para identificação das fitofisionomias no PESCAN foi realizado em setembro de 2022, sendo que a distinção *in loco* baseou-se nas características e definições da classificação propostas por Riberio e Walter (2008).

Os polígonos espaciais que representam as fitofisionomias encontradas no PESCAN, como mata de galeria, vereda, cerrado típico, cerrado rupestre, campo rupestre e campo sujo, cerradão e solo exposto, foram identificados e demarcados com GPS portátil modelo Garmin Etrex 32x. O sistema geodésico de referência utilizado foi o Datum *World Geodetic System* 1984 (WGS 84), e a projeção cartográfica adotada foi a Universal Transversa de Mercator (UTM).

Para compor a área de estudo, a cena (abrangência espacial da imagem) utilizada foi a do sensor MSI (*Muslispectral Instrument*) a bordo do satélite Sentinel 2-A, imageada em 09 de setembro de 2022, com grandeza radiométrica do tipo refletância de superfície, com correção atmosférica, e ortorretificada, sendo este um produto de nível 2, produto S2MSI2A com porcentagem de cobertura de nuvem de 12,93%.

As etapas de pré-processamento da cena obtida foram realizadas no software QGIS versão 3.22 Biatowieza. As bandas com resolução geométrica superior a 60m de pixel foram excluídas da etapa de classificação. As bandas com 20m de resolução foram remostadas para 10m, utilizando o método de interpolação bilinear seguido de empilhamento para geração e um cubo de dados.

Posteriormente, calculou-se vinte índices radiométricos, sendo dezoito índices de vegetação e dois índices de solos. Foi criada uma grade de pontos regulares, de espaçamento 10m x 10m, no interior de cada polígono de fitofisionomia, por fim, extraiu-se os valores espectrais das bandas dos rasters de índices de solo e vegetação.

Com o objetivo de eliminar índices redundantes, realizou-se a análise de agrupamento. A seleção dos índices mais importantes se deu pela análise de componentes principais (ACP), com base nas cargas das variáveis de cada grupo. As variáveis explicativas selecionadas para realizar a predição das fitofisionomias estão listadas na tabela 2:

Tabela 2-Variáveis explicativas selecionadas	
IRECI	Índice de clorofila de borda vermelha invertida
GNDVI	Índice de vegetação de diferença normalizada verde
RI	Índice de vermelhidão

MTCI	Índice de clorofila terrestre de Meris
PSSRA	Índice de razão simples específica de pigmento (clorofila)
RVI	Índice de proporção de vegetação

Os dados tabulados selecionados (não redundantes) e rotulados por linha, isto é, por pixel, conforme a classe de fitofisionomia, foram divididos em duas partes: 1) treinamento, correspondendo a 70% dos dados de cada classe; e 2) teste, correspondendo aos 30% restantes.

No software R (www.r-project.org), ajustou-se o modelo de classificação supervisionada com o classificador Random Forest (RF). RF é um classificador que realiza previsões com base na produção de conjuntos de árvores de decisão para fins de classificação ou regressão (BREIMAN, 2001). As árvores de decisão são geradas de forma independente mediante amostras de treinamento, amostras estas que podem ser selecionadas por vezes distintas umas das outras (BELGIU; DRĂGUȚ, 2016).

O desempenho do classificador e da qualidade dos dados gerados foi realizado por meio da avaliação da acurácia global (AC), do Índice *Kappa* (K) e da matriz de confusão dos dados de teste, com Kappa igual a 0,87 e acurácia 90,5% o classificador *Random Forest* obteve o conceito excelente.

As confusões podem ser verificadas na matriz de confusão (Tabela 3). A matriz de confusão permite calcular a assertividade em cada classe, além de determinar erros de inclusão ou exclusão (CONGALTON; GREEN, 1999), sendo que a partir de seus elementos é possível obter valores de AC para cada classe de fitofisionomia (Figura 1).

Tabela 3 - Matriz de confusão. Os valores na diagonal principal referem-se ao número de pixels corretamente classificados pelo modelo treinado com os dados de teste. Fora da diagonal estão os erros de classificação (confusões).

Classe Observada	Classe predita pelo modelo Random Forest							
	CaR	CS	CeR	CR	CT	MG	SE	VE
CaR	31	3	4	0	0	0	0	0
CS	4	71	18	0	0	0	0	0
CeR	5	22	243	3	7	1	0	0
CR	0	0	1	121	1	3	0	8
CT	0	0	5	1	64	0	0	3
MG	0	0	0	3	0	1	0	0
SE	0	0	0	0	0	0	350	0
VE	0	0	0	0	0	1	0	4

Legenda: CaR: Campo Rupestre; CS: Campo Sujo; CeR: Cerrado Rupestre; CR: Cerradão; CT: Cerrado Típico; MG: Mata de Galeria; SE: Solo exposto; VE: Vereda.

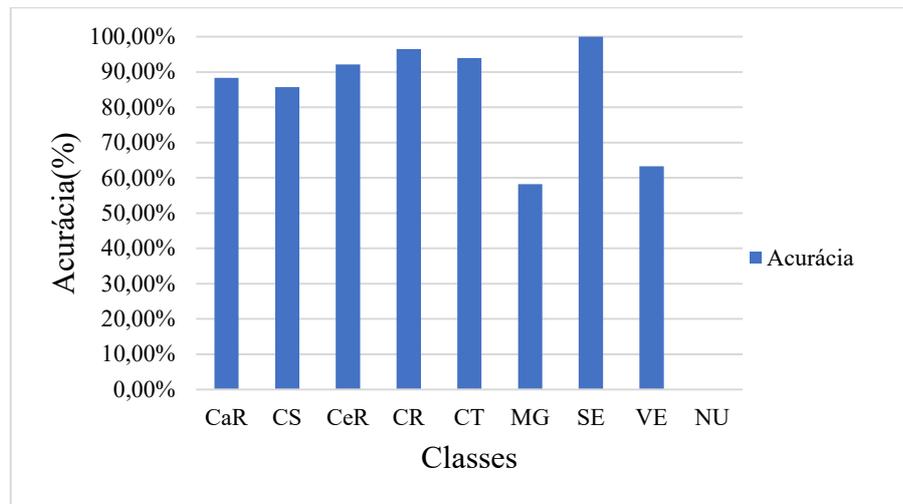
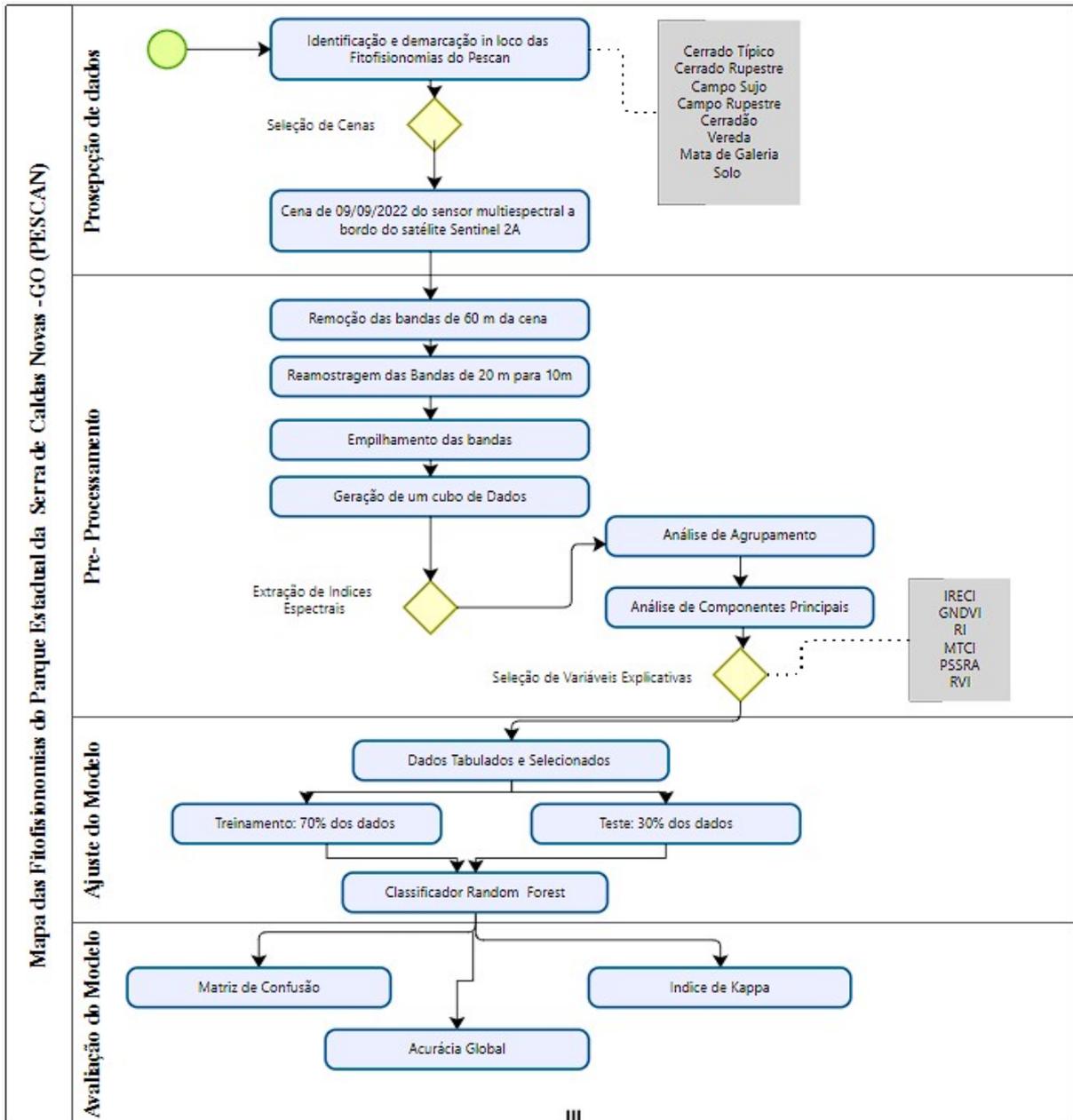


Figura 2- Acurácia do classificador Random Forest por classe de fitofisionomia.

Legenda: CaR: campo rupestre; CS: campo sujo; CeR: cerrado rupestre; CR: cerradão; CT: cerrado típico; MG: mata de galeria; SE: solo exposto; VE: vereda; NU: nuvem

As confusões ocorreram principalmente entre fitofisionomias do mesmo grupo de formação vegetal e nas áreas de transição, situações esperadas devido à homogeneidade espacial e temporal das formações do Bioma.

O processo utilizado na classificação da vegetação e elaboração do mapa das fitofisionomias do PESCAN envolveu quatro etapas principais: Prospecção de dados, Pré-Processamento, Ajuste do Modelo e Avaliação do Modelo. Este procedimento encontra-se representado no Fluxograma 1:



Fluxograma 1-Etapas para classificação da vegetação e elaboração do mapa das fitofisionomias do PESCAN

O mapeamento da vegetação do bioma Cerrado no Parque Estadual Serra de Caldas permitiu quantificar o percentual de cada fitofisionomia na Unidade de Conservação. Além disso, esse mapeamento poderá ser utilizado em estudos de quantificação de riqueza de espécies e alterações espaço-temporais de fitofisionomias e formações vegetais. É importante destacar que o modelo validado com a vegetação nativa do PESCAN permite ampliar as áreas classificadas.

Outros Produtos Disponíveis

Durante o desenvolvimento, o mapa foi comparado com outros produtos disponíveis. O mapeamento da área de estudo, assim como uso e cobertura do solo no território brasileiro, está disponibilizado de forma gratuita pela plataforma TerraBrasilis (<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>) e projeto Map Biomas (<https://mapbiomas.org/>). Os mapas de uso e cobertura do solo são gerados anualmente por meio de sensoriamento remoto e algoritmos de classificação supervisionada e não supervisionada (INPE, 2023).

A vegetação do PESCAN no Map Biomas é dividida nos três grupos de formações: Florestal, Savânica e Campestre (figura 3). Já na plataforma TerraBrasilis, além dos grupos de formações vegetais há a classificação das fitofisionomias de acordo com a proposta de classificação de Ribeiro e Walter (1998) (figura 4).

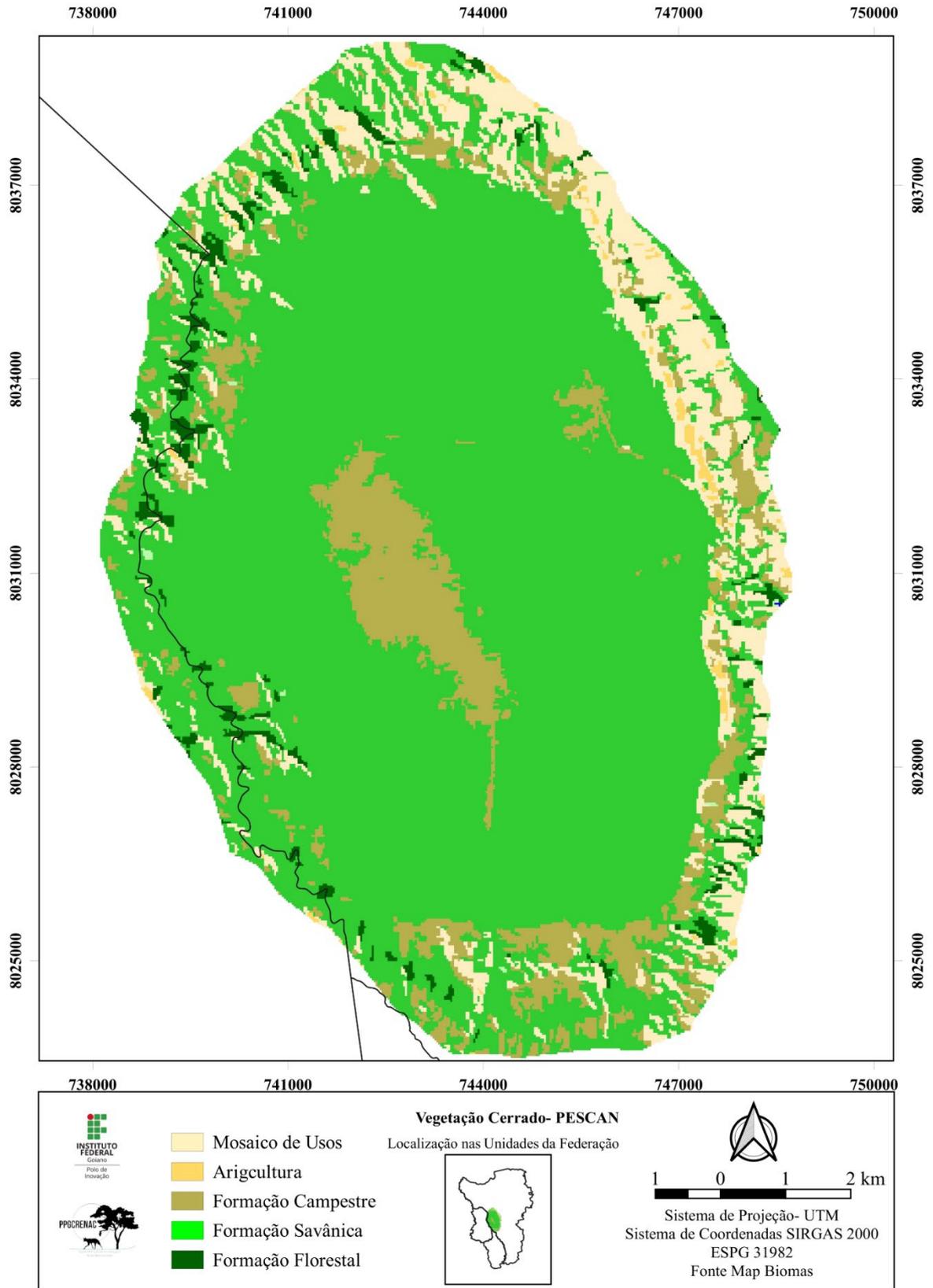


Figura 3- Mapeamento da vegetação do PESAN pela plataforma do Map Biomas
Fonte: Map Biomas (<https://mapbiomas.org/>).

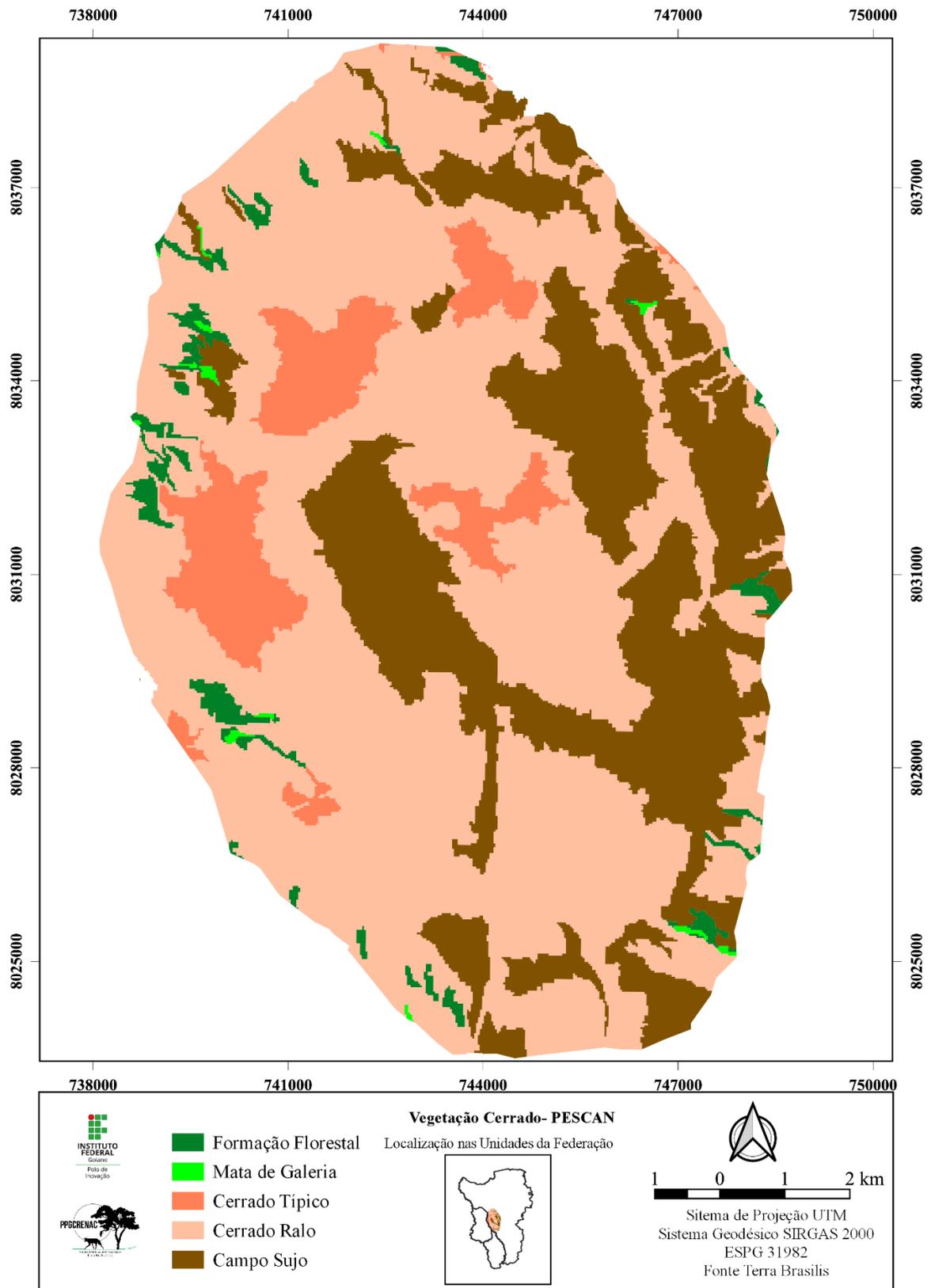


Figura 4- Mapeamento da vegetação do PESAN pela plataforma da TerraBrasilis
 Fonte: TerraBrasilis (<http://terrabilis.dpi.inpe.br/>)

4 PERSPECTIVA E RELEVÂNCIA DO PRODUTO

4.1 Impacto

Criado pelo governo de Goiás, por meio da Lei Estadual nº 7.282, de 25 de setembro de 1970, o Parque está localizado em uma das regiões com maior ocorrência de águas termais do Brasil e abriga diferentes fitofisionomias do Bioma Cerrado em uma área relevante para proteção da biodiversidade, manutenção dos serviços ecossistêmicos, fluxos energéticos e conservação do Bioma (SEMMAD, 2021).

A conservação das espécies constitui um objetivo fundamental à conservação da biodiversidade (THOMAS *et al.*, 2013), visto as evidências de que a redução do número de espécies, genes e grupos funcionais das comunidades ecológicas, influenciam na capacidade de produção primária e ciclagem de nutrientes (CARDINALE *et al.*, 2012). A diversidade fitofisionômica permite inferir sobre a riqueza presente no Bioma em cada fitofisionomia.

A identificação da fitofisionomia possibilita o conhecimento sobre as espécies vegetais que a compõem e suas ocorrências, além da composição do solo e avaliação das influências sobre a fauna de vertebrados, invertebrados. Isso ocorre porque as formações vegetacionais fornecem habitat e alimentos para a sobrevivência e reprodução da fauna (THOMAS *et al.*, 2013).

A classificação das fitofisionomias também permite avaliar o rendimento lenhoso e os possíveis benefícios econômicos da madeira nativa, fornecendo informações valiosas para a fiscalização de supressões irregular de vegetação e validação de supressões licenciadas. Na esfera administrativa, o enquadramento e a mensuração dos atos lesivos praticados contra o meio ambiente são realizados de acordo com as disposições do Decreto Federal 6.514 de 22 de julho de 2008.

Diante da subjetividade da legislação vigente que pune crimes ambientais e complexidade de valoração dos recursos e serviços ecossistêmicos, a identificação das fitofisionomias por meio de sensoriamento remoto e modelos matemáticos constitui uma ferramenta para determinação da fitofisionomia em áreas suprimidas, assim como constitui fundamentos para valoração de autos de infração com a mensuração dos ganhos pelo rendimento lenhoso

4.2 Abrangência

Sob o enfoque na preservação e conservação, o mapa temático de fitofisionomias e o modelo de classificação em maior nível detalhamento de classes que o de produtos já disponíveis é essencial para a necessidade de avaliação da dinâmica espaço-temporal, conservação de espécies, gestão e manejo da unidade de conservação, além de subsidiar a realização de pesquisas de fauna, flora, solos, águas entre outras. Além disso, tanto a metodologia quanto o modelo aplicado para a classificação das fitofisionomias do bioma Cerrado podem ser replicados em demais regiões que abrigam o bioma.

4.3 Aplicabilidade

O mapeamento das fitofisionomias do PESCAN, a metodologia de classificação e o modelo validado constituem um produto inovador à sociedade civil, aos órgãos públicos ambientais e às instituições de ensino. Na esfera pública, aplica-se ao órgão gestor do Parque, na construção do plano de manejo e na definição de ações prioritárias na unidade de conservação e respectiva zona de amortecimento, ao órgão municipal de meio ambiente nas análises processuais, licenciamento ambiental, monitoramento e atos fiscais. As instituições de ensino, públicas ou privadas, podem se valer do produto para desenvolvimento de atividades extracurriculares e práticas que visam enriquecer a metodologia de ensino, além de possibilitar o desenvolvimento de novas pesquisas. Por sua vez, os profissionais liberais podem valer-se dos dados disponíveis para fundamentar e referenciar projetos ambientais.

4.4 Complexidade

A construção de modelo de classificação de fitofisionomias requer conhecimentos de: modelagem, geotecnologias, geoprocessamento, sensoriamento remoto, ecologia e conservação da biodiversidade, sendo assim um processo multidisciplinar. A escolha do satélite, das imagens, variáveis explicativas, modelo de classificação, avaliação e validação do modelo, e confecção de mapas temáticos demonstram a complexidade e multidisciplinaridade do processo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, o produto técnico, fundamentado em dados de campo, geotecnologias e mapeamento, constituiu um acervo de conhecimento além de subsidiar estudos ambientais, ações prioritárias no plano de manejo e planejamento urbano ambiental.

O modelo validado com a vegetação nativa do PESCAN apresenta um nível de categorização mais abrangente e detalhado em comparação aos mapas disponíveis. Embora tenha enfrentado desafios na diferenciação entre as fitofisionomias de mata de galeria e veredas, demonstrou um desempenho satisfatório na identificação dos padrões espaciais das classes de cerrado típico, cerrado rupestre, campo rupestre, campo sujo, cerradão e solo exposto.

É importante destacar que a formação savânica é predominante no PESCAN, posto que as fitofisionomias de cerrado típico e cerrado rupestre juntas representam 77,25% da área total.

6 REFERÊNCIAS

- BATISTA, F. R. de Q. **Mapeamento de fitofisionomias de cerrado por sensoriamento remoto: desafios e possibilidades.** *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 19, 2019, Santos. Anais... Santos: INPE, 2019.
- BELGIU, M., & DRĂGUȚ, L. (2016). **Floresta aleatória em sensoriamento remoto: uma revisão de aplicações e direções futuras.** *Jornal ISPRS de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto*, 114, 24–31. Doi:10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011
- BREIMAN, L. **Random forests.** *Machine Learning*, v. 45, n. 1, p. 5-32, 2001.
- BRASIL. **Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008.** Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações e dá outras providências. Brasília, DF, 2008. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6514.htm. Acesso em: 26 maio 2023.
- CARDINALE, B. J.; DUFFY, J. E.; GONZALEZ, A.; HOOPER, D. U.; PERRINGS, C.; VENAIL, P.; NAEEM, S. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, [s. l.], v. 486, n. 7401, p. 59-67, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature11148>. Acesso em: 17 maio 2023.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices.** New York: Lewis Publishers, 1999. 136 p.
- DI GIROLAMO NETO, C. **Identificação de fitofisionomias de cerrado no parque nacional de Brasília utilizando Random Forest aplicado a imagens de alta e média resoluções espaciais.** 2018. 212 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3RU6Q68>. Acesso em: 21 maio 2023.
- EUROPEAN SPACE AGENCY. **SNAP.** [s. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://earth.esa.int/eogateway/tools/snap>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- INPE. **Vegetação no Bioma Cerrado.** Terrabrasilis, [s. l.], 2021. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/963a7330-9b3a-4e83-bd8b-05d4778a3a66>. Acesso em: 25 abr. 2023.
- JACON, A. D.; GALVÃO, L. S.; SANTOS, J. R.; SANO, E. E. Seasonal characterization and discrimination of savannah physiognomies in Brazil using hyperspectral metrics from Hyperion/EO-1. *International Journal of Remote Sensing*, [s. l.], v. 38, n. 15, p. 4494-4516, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1320443>. Acesso em: 17 abr. 2023.
- NISHIKAWA, D. L. L., ROCHA E., SILVEIRA, É. R. DA, PULITANO, F. M., REGALADO, L. B., CARVALHAES, M. A.; PARANAGUÁ, P. A.; RANIERI, V. E. L.

Caracterização de dois estrados da vegetação em uma área de cerrado no município de Brotas, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.16, n.3, p.251-262, 2002.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. *In*: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Orgs.). **The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. p. 91-120.

RUIZ, I. H. **Uso de métricas fenológicas calculadas de diferentes índices de vegetação da constelação de satélites planetscope para classificação de fitofisionomias do cerrado**. 2022. 93 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2022. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/46DD25B>. Acesso em: 15 maio 2023.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Orgs.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 153-2012.

SEMAD. **Plano de Manejo do Parque Estadual da Serra de Caldas Novas**. Goiânia: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado de Goiás, 2021. Disponível em: https://www.meioambiente.go.gov.br/files/Arquivos_2022/PM_PESCA.pdf. Acesso em: 20 maio 2023.

THOMAS, C. D.; ANDERSON, B.; MOILANEN, A.; EIGENBROD, F.; HEINEMEYER, A.; QUAIFFE, T.; BELLAMY, C. Reconciling biodiversity and carbon conservation. **Ecology Letters**, [s. l.], v. 16, p. 39-47, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ele.12054>. Acesso em: 18 maio 2023.

TONIOL, A.C.; GALVÃO, L.S.; PONZONI, F.J.; SANO, E.E.; AMORE, D.J. Potential of hyperspectral metrics and classifiers for mapping Brazilian savannas in the rainy and dry seasons. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, [s. l.], v. 8, p. 20-29, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.07.004>.

APÊNDICE A. GLOSSÁRIO

Aprendizado de Máquina	É um subcampo da inteligência artificial que se concentra na criação de modelos computacionais que possibilitam que as máquinas aprendam com dados, aprimorem-se e reproduzam padrões.
Classificação supervisionada	Técnica de aprendizado de máquina e processamento de imagens em que cada pixel da imagem é rotulado com a classe que pertence.
Imagem Ortoretificada	Imagem corrigida geometricamente para remover distorções do terreno.
Índices Radiométricos	Índices utilizados para realçar características específicas das imagens
Matriz de confusão	Ferramenta para avaliar o desempenho das técnicas de aprendizado de máquina.
Random Forest	É uma técnica de aprendizado de máquina que realiza previsões com base na produção de conjuntos de árvores de decisão.
Rastear	É uma imagem digital composta por uma grade de pixel que detém dados e informações da superfície terrestre
Reamostragem	Processo para alteração da resolução espacial de uma imagem.
Refletância de superfície	Medida da quantidade de radiação incidente na superfície que é refletida.
Resolução espacial	Refere-se ao tamanho do pixel da imagem, quanto menor o tamanho do pixel, mais detalhes serão representados na imagem.
Similaridade espectral	Semelhança da reflectância de diferentes objetos da superfície terrestre
SIRGAS 2000	Datum geodésico de referência utilizado em sistemas de informação geográfica no Brasil
Unidade de Conservação de Proteção Integral	Área legalmente protegida com para manutenção da biodiversidade, sendo permitido apenas o uso indireto dos recursos naturais ali presentes.

UTM (Universal
Transversa Mercator)

Projeção cartográfica para representação precisa da superfície terrestre em mapas e sistemas de informações geográficas.

APÊNDICE B. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Descrição	Mapa temático das fitofisionomias do Cerrado presentes no PESCAN, conforme características e definições de classificação propostas por Riberio e Walter (2008).
Desenvolvedores	Vivianne Rodrigues da Silva Anderson Rodrigo da Silva
Dados Base	Imagem do sensor multiespectral a bordo do satélite Sentinel 2A
Preditores	Índices Radiométricos
Data da Criação	21/08/2023
Versão atual	1.0
Linguagem de Programação	R
Bibliotecas	Leaflet, rgdal, raster, basemaps, sp, leafem, leaflet.extras, inlmisc
Linguagem Acessória	HTML, CSS
Repositório	
Sistema Geodésico	SIRGAS 2000
Sistema de Projeção	Universal Transversa de Mercator (UTM).
Resolução Espacial	Metros(m)
Número de Classes	8 Classes
Modelo de Classificação	Random Forest
Acurácia Geral	90,50%
Acurácia Cerrado Típico	93,95%
Acurácia Cerrado Rupestre	92,15%
Acurácia Cerradão	96,50%

Acurácia Campo Sujo 85,73%
Acurácia Campo Rupestre 88,37%
Acurácia Mata de Galeria 58,18%
Acurácia Vereda 63,28%
Acurácia Solo Exposto 100,00%