



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**AVALIAÇÃO DO PLANO DE
RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DA
CASCALHEIRA DA RAJADINHA,
PLANALTINA**

Ingyrd Santos Amorim

Brasília, 11 de julho de 2025

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB
FACULDADE DE TECNOLOGIA - FT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL – EFL

**AVALIAÇÃO DO PLANO DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DA
CASCALHEIRA DA RAJADINHA, PLANALTINA**

Ingyrd Santos Amorim

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-DF, 11 de julho de 2025

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB
FACULDADE DE TECNOLOGIA - FT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL – EFL

**AVALIAÇÃO DO PLANO DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DA
CASCALHEIRA DA RAJADINHA, PLANALTINA**

Estudante: Ingrid Santos Amorim Matrícula:

18/0113615

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Menção: SS

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

Prof(a). Dr(a). Ricardo de Oliveira Gaspar
Departamento de Engenharia Florestal - UnB
Membro da Banca

Patrícia Costa Bueno
Consultora Ambiental
Membro da Banca

Brasília-DF, 11 de julho de 2025

CIP - Catalogação na Publicação

Aa Amorim, Ingrid Santos.
AVALIAÇÃO DO PLANO DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DA
CASCALHEIRA DA RAJADINHA, PLANALTINA / Ingrid Santos Amorim;

Orientador: Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi. Brasília,
2025.
71 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - Engenharia
Florestal) Universidade de Brasília, 2025.

1. Recuperação ambiental. 2. Plano de recuperação de
áreas degradadas. 3. Sensoriamento remoto. 4.
Geoprocessamento. 5. Serviços ecossistêmicos. I. Matricardi,
Eraldo Aparecido Trondoli, orient. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AMORIM, I. S. (2025). **AVALIAÇÃO DO PLANO DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DA CASCALHEIRA DA RAJADINHA, PLANALTINA**. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 57 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR(A): Ingrid Santos Amorim

TÍTULO: *Avaliação do Plano de Recuperação Ambiental da Cascalheira da Rajadinha, Planaltina.*

GRAU: Engenheiro(a) Florestal

ANO: 2025

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. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Ingrid Santos Amorim_

ingrydsantosam@gmail.com

Dedico aos meus pais, Verônica e
Humberto, e a minha avó Gracinha
in memoriam.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Verônica e Humberto, por sempre apoiarem meus estudos e minha mudança para Brasília para estudar na UnB. Me forneceram total suporte, conforto e carinho durante todos esses anos intensos na graduação.

A toda a minha família, que sempre apoiou a minha trajetória acadêmica e se fez presente, mesmo à distância.

À minha tia Paula e aos meus avós, Maria Geralda e Vicente, que sempre me deram amor e carinho incondicionais.

À Maria Luísa, minha afilhada, que só trouxe ainda mais alegria para a família.

Ao Léo, que me ajudou e esteve presente em toda a minha jornada ao longo desses anos de graduação.

À Tainá, minha amiga para a vida toda e companheira de casa durante todo o período da graduação. Agradeço por dividir uma confortável casinha comigo.

À Míriam, que também estava na missão de finalizar o TCC e foi minha companheira em diversas chamadas de vídeo para nos apoiarmos durante esse processo.

Às minhas amigas de Goiânia, que, mesmo de longe, jamais deixaram de me apoiar e amparar.

A todos os amigos e amigas que conheci graças à UnB e que tanto colaboraram para tornar Brasília um local ainda mais acolhedor para mim.

À Ana Beatriz, que me ensinou boa parte do que sei sobre geoprocessamento.

À equipe da Novacap, João, Patrícia, Claudimar e Milena, que me acompanharam até a Rajadinha e enfrentaram as ferroadas de abelhas junto comigo.

Ao professor Eraldo, que foi um excelente orientador e sempre esteve disponível para me auxiliar durante todo esse percurso. Serei eternamente grata.

À Patrícia e ao Ricardo, por aceitarem o convite para compor minha banca. À NOVACAP e ao Claudimar, pela oportunidade de estágio.

Ao corpo docente e aos técnicos do Departamento de Engenharia Florestal, por todo o trabalho e conhecimento transmitido durante este período.

À Universidade de Brasília, por ter sido casa durante esses anos.

RESUMO

O avanço das atividades minerárias no Brasil tem ampliado significativamente as áreas degradadas, causando impactos físicos, bióticos e socioeconômicos severos. Este estudo avaliou os efeitos da implementação de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) na Cascalheira da Rajadinha, localizada em Planaltina-DF. A área sofreu intensa degradação devido à extração de cascalho para pavimentação de rodovias promovida pela Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (NOVACAP). Foram analisadas as mudanças ocorridas entre 2016 e 2023, por meio de dados de sensoriamento remoto e levantamentos de campo, considerando variáveis como uso e cobertura da terra, Índice de Vegetação Resistente à Atmosfera (ARVI), capacidade de infiltração e temperatura do solo. Os resultados indicam uma recuperação gradual do ecossistema, refletida no aumento da heterogeneidade vegetal, melhoria da infiltração do solo, presença de espécies nativas e redução da temperatura da superfície na área restaurada. A análise confirmou a eficácia do uso de biossólidos e da vegetação nativa do Cerrado na recuperação ecológica. A implantação do PRAD contribuiu positivamente para a reestruturação dos serviços ecossistêmicos no local. Para pesquisas futuras, recomenda-se o monitoramento contínuo da área, visando avaliar a sustentabilidade dos serviços ecossistêmicos ao longo do tempo. Além disso, sugere-se a realização de estudos mais aprofundados sobre a dinâmica das espécies de fauna e flora que se estabeleceram no ambiente restaurado, o que contribuiria para comprovar a maior integridade ambiental da área em processo de recuperação.

Palavras-chave: Recuperação ambiental; Plano de recuperação de áreas degradadas; Sensoriamento remoto; Geoprocessamento; Serviços ecossistêmicos.

ABSTRACT

The expansion of mining activities in Brazil has significantly increased the extent of degraded areas, resulting in severe physical, biotic, and socioeconomic impacts. This study evaluated the effects of implementing a Degraded Area Recovery Plan (PRAD) in the Rajadinha Gravel Pit, located in Planaltina, Federal District (DF). The area experienced intense degradation due to gravel extraction for road paving carried out by the Urban Development Company of the New Capital (NOVACAP). Changes occurring between 2016 and 2023 were analyzed using remote sensing data and field surveys, considering variables such as land use and land cover, Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI), infiltration capacity, and soil surface temperature. The results indicate a gradual recovery of the local ecosystem, reflected in increased vegetation heterogeneity, improved soil infiltration, the presence of native species, and reduced surface temperature in the restored area. The analysis confirmed the effectiveness of using biosolids and native Cerrado vegetation in ecological restoration. The implementation of the PRAD contributed positively to the reestablishment of ecosystem services in the area. For future research, continuous monitoring is recommended to evaluate the long-term sustainability of the ecosystem services in the restored area. Furthermore, it is suggested that more in-depth studies be conducted on the dynamics of the fauna and flora species that have established themselves in the restored environment, which would help to prove the greater environmental integrity of the area in the process of recovery.

Keywords: Environmental recovery; Recovery plan for degraded areas; Remote sensing; Geoprocessing; Ecosystem services.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	15
3.2	HISTÓRICO DA IMPLEMENTAÇÃO DO PRAD.....	17
3.3	METODOLOGIA	24
3.3.1	Uso e Cobertura da Terra.....	24
3.3.2	Infiltração do Solo.....	24
3.3.2.1	Declividade (S) 25	
3.3.2.2	Textura do solo (Stext), umidade do solo (Swet) e transmissividade do solo (T).....	25
3.3.2.3	Uso e cobertura da terra (LU)	26
3.3.2.4	Precipitação (PP).....	26
3.3.3	Temperatura do solo e Índice de Vegetação Resistente à Atmosfera (ARVI) ...	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5	CONCLUSÕES	37
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
7	REFERÊNCIAS.....	38
	ANEXOS.....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo na Região Administrativa de Planaltina–DF, indicando os limites da Cascalheira e das áreas de plantio	18
Figura 2 - Sequência de imagens demonstrando as atividades executadas até a conclusão do plantio (2017). Fotos: NOVACAP (2025)	21
Figura 3 - Atividades de manutenção que foram realizadas ao longo dos anos. Fotos: NOVACAP (2025)	23
Figura 4 - Uso e Cobertura da Terra na área de estudo no período de 2016 a 2023	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de espécies plantadas em 2017	22
Tabela 2 - Resultados da aferição de indicadores ecológicos (2020).....	25
Tabela 3 - Valores de escores utilizados para calcular o parâmetro uso e cobertura da terra (LU)	29

LISTA DE ANEXOS

Anexo I: Vista aérea da área de estudo antes da implantação do PRAD (06/2015).....	46
Anexo II: Vista aérea da área de estudo antes da implantação do PRAD (06/2016).	47
Anexo III: Vista aérea da área de estudo no ano da implantação do PRAD (06/2017).....	48
Anexo IV: Vista aérea da área de estudo feita por drone (22/06/2023).....	49
Anexo V: Vista aérea da área de estudo feita por drone (22/06/2023).....	50
Anexo VI: Vista aérea da área de estudo feita por drone (22/06/2023).....	51
Anexo VII: Carcaça de tatu encontrada na área.....	52
Anexo VIII: Registro de ovos eclodidos de pássaros silvestres.....	53
Anexo IX: Identificação de serpente Jiboia (<i>Boa constrictor</i>).....	54
Anexo X: Registro de Gafanhoto.....	55
Anexo XI: Identificação de Sagui (<i>Callithrix sp.</i>).....	56
Anexo XII: Registro de pássaro.....	57
Anexo XIII: Registro de toca de tatu (25/06/2025).....	58
Anexo XIV: Arranhões no tronco da espécie Gonçalves-Alves (<i>Astronium fraxinifolium</i>).....	59
Anexo XV: Arranhões no tronco da espécie Aroeira-branca (<i>Lithraea molleoides</i>).....	60
Anexo XVI: Concha encontrada na área, indicando a possível presença de caracol (25/06/2025).....	61
Anexo XVII: Visualização da profundidade de serrapilheira depositada sobre o solo (25/06/2025).....	62
Anexo XVIII: Visualização de serrapilheira depositada sobre o solo (25/06/2025).....	63
Anexo XIX: Identificação de área remanescente da cascalheira (25/06/2025).....	64
Anexo XX: Observa-se parte da área, com destaque para a serrapilheira depositada no solo (25/06/2025).....	65
Anexo XXI: Observação do dossel em parte da área (25/06/2025).....	66
Anexo XXII: Relação de espécies usadas para o replantio de 2019.....	67
Anexo XXIII: Tabela de espécies identificadas nas parcelas alocadas em 2023, e seus respectivos quantitativos.....	68
Anexo XXIV: Tabela demonstrando os valores da Significância Hídrica (HS) do ano de 2016 e 2023.....	70

LISTA DE SIGLAS

APA - Área de Proteção Ambiental

APM - Área de Proteção de Mananciais

ARVI - Índice de Vegetação Resistente à Atmosfera

ASMAM - Assessoria de Meio Ambiente

CAESB - Companhia Ambiental de Saneamento do Distrito Federal

DIMAM - Divisão de Meio Ambiente

DPJ - Departamento de Parques e Jardins

GEE - *Google Earth Engine*

HS - Indicador de Significância Hídrica

IBRAM - Instituto Brasília Ambiental

MEA - *Millennium Ecosystem Assessment*

NOVACAP - Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil

PRAD - Plano de Recuperação de Áreas Degradadas

SE - Serviços Ecológicos

1 INTRODUÇÃO

O surgimento de grandes cidades decorre da combinação de elementos sociais, políticos e econômicos, além das condições geográficas que desempenham um papel fundamental no processo de expansão urbana (NOVACAP, 1957). A expansão urbana traz a necessidade de construção de estradas para viabilizar o escoamento de produtos, o transporte de pessoas e a interligação entre as cidades (Rezende & Coelho, 2015).

Na segunda edição do Relatório Técnico sobre a Nova Capital da República (NOVACAP, 1957), encontram-se os estudos técnicos conduzidos pela empresa norte-americana Donald J. Belcher and Associates para a escolha do melhor local para construir a cidade de Brasília. Nesse contexto, pensar na construção das estradas que permitiriam a conexão com a capital federal foi considerado um primeiro passo essencial.

O cascalho é um solo com ampla disponibilidade no Brasil e esse fato incentivou sua utilização nas camadas estruturais (base e sub-base) de pavimentos. Possui boa resistência aos esforços de compressão, principalmente quando é estabilizado mecanicamente, além de poder superar o desempenho de materiais granulares normalmente empregados em pavimentação, segundo ensaios laboratoriais (Oliveira, 2018).

No estudo de “Solos para Engenharia” abrange todos os materiais da terra, à exceção de rochas, englobando também o cascalho laterítico, canga ou tapanhoacanga, que apresentam granulação grossa e propriedades texturais semelhantes às de um cascalho (NOVACAP, 1957). Na classificação dos agregados presentes no Distrito Federal, os cascalhos lateríticos ocuparam o primeiro lugar em ordem de importância para a engenharia do transporte.

Apesar da construção de rodovias gerar um impacto positivo no desenvolvimento econômico e social, diversos impactos negativos também são gerados para o meio ambiente, como: intensificação de processos erosivos, impactos na qualidade das águas superficiais e subterrâneas, supressão de vegetação nativa, modificação dos habitats naturais, possibilidade de favorecer o ingresso de espécies exóticas, perda de biodiversidade em função da fragmentação e isolamento de populações, aumento da caça predatória, criação de ambientes favoráveis à proliferação de vetores, entre outros (Rezende & Coelho, 2015).

Além dos impactos negativos supracitados, a intensa extração do cascalho para utilização em pavimentação também é prejudicial ao meio ambiente. A região conhecida como Cascalheira da Rajadinha, localizada em Planaltina–DF, foi explorada por muitos anos pela

Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (NOVACAP) para a retirada de cascalho, o que resultou em uma área degradada e com o seu ecossistema perturbado.

Segundo a *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA, 2005), os ecossistemas fornecem uma série de benefícios para a humanidade, conhecidos como serviços ecossistêmicos (SE). Esses serviços são divididos em quatro categorias, sendo elas: provisão – produtos extraídos diretamente do ecossistema, como alimentos, combustível, recursos genéticos, água doce e bioquímicos; regulação – vantagens resultantes da regulação dos processos ecossistêmicos, como regulação climática, regulação da erosão, polinização, purificação da água e tratamento de resíduos; suporte – essenciais para viabilizar o funcionamento dos demais serviços, geralmente com impactos indiretos ou observados após um longo período na sociedade, são eles formação do solo, fotossíntese, ciclagem de nutrientes e produção primária; e cultural – ganhos imateriais proporcionados pelos ecossistemas, como diversidade cultural, enriquecimento espiritual, valores educacionais, recreação e ecoturismo.

A recuperação de áreas degradadas desempenha um papel fundamental para o restabelecimento da vegetação nativa da região, em busca de um ecossistema equilibrado e com a garantia da oferta de diversos serviços ecossistêmicos. Em função dessa demanda, a Constituição Federal de 1988, artigo 225, estabeleceu o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD). No segundo parágrafo do mesmo artigo, fica definido que “aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei”.

Como forma de corroborar com o determinado pela Constituição de 1988, em 1990 o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) publicou o “Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração: Técnicas de Revegetação”, visando instruir as medidas essenciais para a recuperação de áreas degradadas em decorrência da mineração.

Diante do exposto, a recuperação da área da Cascalheira da Rajadinha foi responsabilizada à NOVACAP, em conformidade com o que determina a Constituição. Por se tratar de procedimento complexo, a recuperação ambiental exige tempo, recursos e conhecimento detalhado dos fatores ambientais (solo, fauna, flora, entre outros) da área afetada (Almeida, 2016).

No presente estudo, buscou-se analisar e comparar as alterações ocorridas na Cascalheira da Rajadinha antes, durante e após a implementação do PRAD, considerando o período de 2016 a 2023. As variáveis que serão analisadas neste estudo são o uso e

cobertura da terra, o índice de vegetação resistente à atmosfera (ARVI), a capacidade de infiltração e a temperatura do solo. Adicionalmente, foi verificada os impactos da implementação do PRAD na disponibilidade dos serviços ecossistêmicos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar e comparar as alterações ambientais ocorridas na Cascalheira da Rajadinha antes, durante e após a implementação do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), executado pela Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (NOVACAP), considerando o período de 2016 a 2023.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar os efeitos nas condições ambientais decorrentes da implementação do PRAD na área de estudo;
- Identificar as alterações ocorridas nos serviços ecossistêmicos, considerando as variáveis: uso e cobertura da terra, índice de vegetação resistente à atmosfera (ARVI), capacidade de infiltração e temperatura do solo;
- Analisar a efetividade do sensoriamento remoto na avaliação do grau de recuperação ambiental da área;
- Avaliar os resultados observados neste estudo em comparação com os dados de campo disponibilizados em relatórios apresentados pela NOVACAP.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Todas as informações específicas do PRAD, assim como as fotos registradas durante sua implantação, utilizadas neste trabalho, foram retiradas de arquivos e relatórios disponibilizados pela NOVACAP, exceto aquelas que estejam especificadas com fontes diferentes. Esses documentos forneceram os dados necessários para a análise detalhada do PRAD e das atividades realizadas na Cascalheira da Rajadinha.

3.1 Caracterização da área de estudo

A Cascalheira da Rajadinha abrange uma área total de 11,72 ha, mas somente 8,20 ha foram efetivamente plantados. Está localizada entre a DF-130 e VC-411, km 8,5, pertencendo à Região Administrativa de Planaltina–DF (ver fig. 1) e à Área de Proteção Ambiental (APA) da Bacia do Rio São Bartolomeu. A Área de Proteção de Mananciais

(APM) São Bartolomeu está a 3,5 km a oeste da cascalheira, e o curso d'água mais próximo é o Rio São Bartolomeu, a uma distância de 6 km, também a oeste. A inclinação média da área é de 5%, com amplitude de 2 a 8% no sentido Leste-Oeste. A construção de terraços nas áreas com maior inclinação teve o objetivo de reduzir o efeito das chuvas e dificultar a formação de processos de erosão (CAESB, 2015).

Conforme a classificação climática de Köppen, o clima tropical com inverno seco (Aw) é o predominante no Distrito Federal, enquanto a precipitação média anual varia entre 1.100 a 1.600 mm (CODEPLAN, 2020). Segundo a série histórica elaborada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2021) nos anos de 1974 a 2003, a região de Planaltina registrou uma precipitação média anual de 1.393,83 mm. Mais recentemente, em 2020, outro estudo da EMBRAPA indicou um acumulado anual de precipitação pluvial de 1.569,7 mm para a mesma região.

Por meio de uma decisão judicial, foi determinado que a área é de posse do Sr. Darci Hass e a cascalheira se encontra a 2 km da sede da Fazenda Santa Cruz. Ao redor, é possível visualizar áreas de plantio e manchas de cerrado (CAESB, 2015). Conforme o Certificado de Análise da amostra de solo coletada em 2014 pela CAESB, o solo foi classificado com textura franco-argilosa.

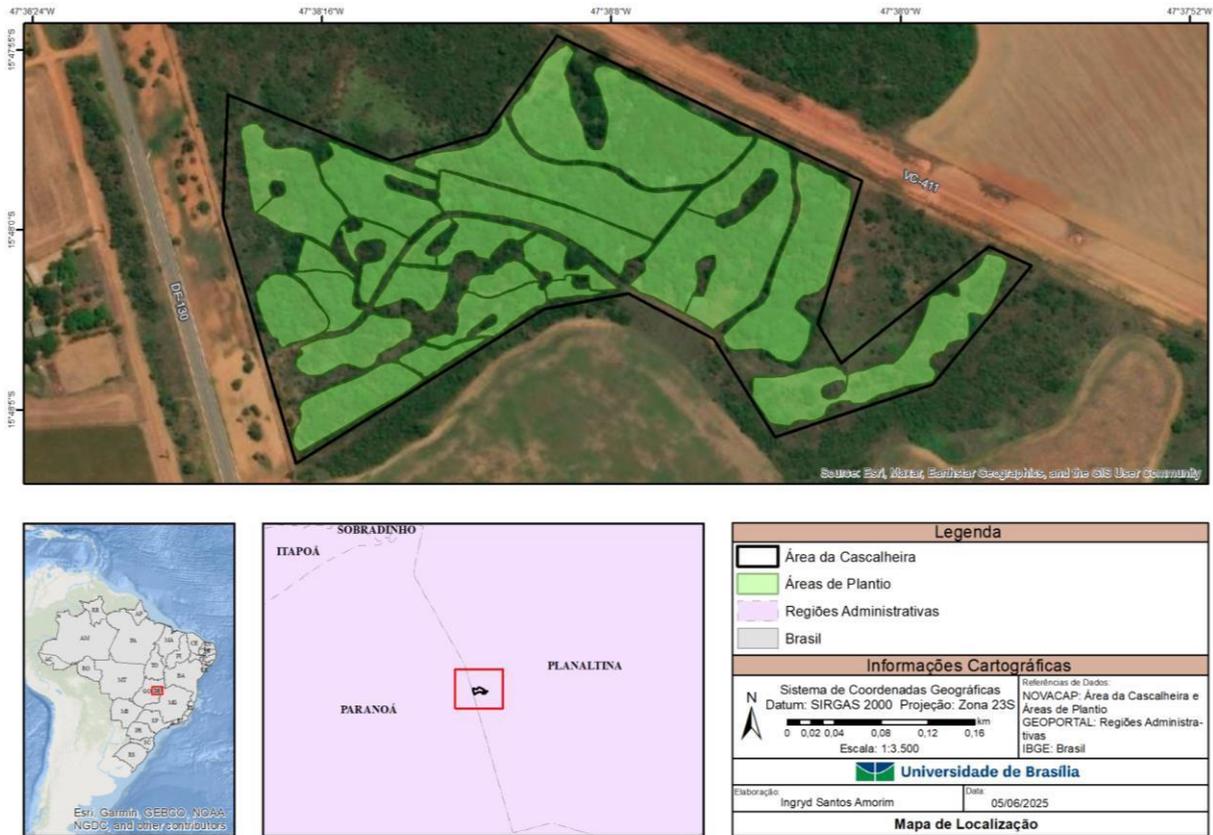


Figura 1 - Localização da área de estudo na Região Administrativa de Planaltina–DF, indicando os limites da Cascalheira e das áreas de plantio

3.2 Histórico da implementação do PRAD

Anteriormente, a área era explorada pela NOVACAP para a retirada de cascalho, até que surgiu a necessidade de sua recuperação, cuja autorização ambiental para iniciar foi concedida em dezembro de 2015. O plantio foi executado pela empresa Ecotech Tecnologia Ambiental e Consultoria LTDA, vencedora do processo de licitação, e vistoriado pelo Departamento de Parques e Jardins (DPJ) e pela Assessoria de Meio Ambiente (ASMAM) da NOVACAP. Todos os relatórios elaborados foram encaminhados ao Instituto Brasília Ambiental (IBRAM) para fins de acompanhamento.

Os preparativos para a implantação do PRAD começaram em dezembro de 2016, mas o plantio das 10.000 mudas de árvores iniciou-se na primeira quinzena de janeiro de 2017, simultaneamente com a regularização das chuvas previstas para o período, o que aumentou as chances de sucesso do plantio. Primeiramente, foi realizada uma vistoria para conhecer a área e traçar a melhor estratégia para a realização do plantio. Em seguida, foram abertos os berços com espaçamento de 3x3 m e profundidade de 60 cm, com o auxílio de um trator e um mini trator Bobcat.

Visando enriquecer o solo, a adubação foi feita de forma manual com a aplicação de biossólidos (lodo de esgoto tratado) da Companhia Ambiental de Saneamento do Distrito Federal (CAESB), sendo posteriormente complementada com outros insumos, conforme recomendação dos técnicos da própria CAESB. Para a aplicação de lodo, a área foi dividida em seis talhões, permitindo que cada um fosse preparado de acordo com suas particularidades. Foi feito o nivelamento do terreno e a construção de terraços em nível, buscando assegurar condições adequadas para a deposição do biossólido, que ocorreu em setembro de 2015, e melhorar as condições hídricas, contribuindo para o restabelecimento da vegetação. A partir disso, o lodo úmido foi aplicado e incorporado ao solo. Posteriormente, aplicou-se a cal hidratada para impedir o surgimento de vetores e amenizar os odores. O lodo de esgoto, além de ser um excelente condicionador do solo, colabora para a melhoria das características físicas e estruturais do solo, aumentando sua capacidade de retenção de água e fornecendo os nutrientes necessários para o crescimento das mudas (CAESB, 2015).

No viveiro da NOVACAP, foram selecionadas apenas mudas de espécies nativas do Cerrado (ver Tabela 1), que foram transportadas em caminhões adequados até o local de plantio. O processo foi realizado manualmente, com a adição de tutores de eucalipto (aproximadamente 1,80 m de altura e 5 cm de diâmetro) e o amarrio das plantas a esses

tutores para auxiliar na sustentação e verticalização das mudas. Além disso, foi feito o coroamento das mudas, o que contribuiu para a contenção da água das chuvas na base da planta, além de evitar o sufocamento e a competição por nutrientes com plantas invasoras e, também, oferece proteção em caso de incêndios. A Figura 2 ilustra cada etapa desse processo de plantio. Mais detalhes e aspectos fotográficos da área de estudo estão apresentados nos Anexos de I a XXIV.



Abertura dos berços



Abertura dos berços



Berços abertos



Adubação



Transporte de mudas



Organização dos tutores



Alocação dos tutores



Plantio



Plantio e coroamento



Plantio e coroamento

Figura 2 - Sequência de imagens demonstrando as atividades executadas até a conclusão do plantio (2017). Fotos: NOVACAP (2025)

Tabela 1 - Relação de espécies plantadas em 2017

Nome científico	Nome comum	Quantidade
<i>Anadenanthera colubrina</i>	Angico vermelho	400
<i>Astronium urundeuva</i>	Aroeira	200
<i>Schinus terebenthifolius</i>	Aroeira vermelha	100
<i>Cedrela fissilis</i>	Cedro	450
<i>Sterculia striata</i>	Chichá	350
<i>Cecropia adenopus</i>	Embaúba	400
<i>Pseudobombax Tomentosum</i>	Embiruçu peludo	400
<i>Astronium fraxinifolium</i>	Gonçalo Alves	300
<i>Aspidosperma parviflorum</i>	Guatambu do cerrado	25
<i>Inga marginata</i>	Ingá colar	225
<i>Inga laurina</i>	Ingá mirim	450
<i>Amburana cearensis</i>	Imburana	100
<i>Handroanthus serratifolia</i>	Ipê amarelo da mata	400
<i>Tabebuia roseo-alba</i>	Ipê branco	900
<i>Tabebuia aurea</i>	Ipê caraíba	50
<i>Tabebuia impetiginosa</i>	Ipê roxo	100
<i>Jacaranda mimosaeifolia</i>	Jacarandá mimoso	475
<i>Hymenaea stilbocarpa</i>	Jatobá da mata	250
<i>Genipa americana</i>	Jenipapo	300
<i>Cariniana rubra</i>	Jequitibá Vermelho	50
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Landim	100
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá da mata	250
<i>Guarea guidonia</i>	Marinheiro	250
<i>Lafoensia glyptocarpa</i>	Mirindiba	250
<i>Acacia polyphylla</i>	Monjoleiro	275
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Mutamba	100
<i>Chorisia speciosa</i>	Paineira rosa	300
<i>Triplaris pachau</i>	Pajeú	475
<i>Bauhinia variegata</i>	Pata de vaca	50
<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	Pereiro	50
<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>	Peroba rosa	275
<i>Magnolia ovata</i>	Pinha do brejo	50
<i>Sapindus saponaria</i>	Saboneteira	100
<i>Croton urucurana</i>	Sangra-d'água	100
<i>Clitoria fairchildiana</i>	Sombreiro	250
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Tamboril da mata	825
<i>Magonia pubescens</i>	Tingui	125
<i>Acosmium dasycarpum</i>	Unha d'anta	150

Alguns meses após o plantio, foi realizada a primeira manutenção da área, sendo possível observar a presença de vegetação invasora e o capim bem alto, dificultando a entrada pelos acessos. Primeiramente, foi feita a roçagem e, para isso, utilizou-se um trator agrícola entre as linhas de plantio e, para o controle entre plantas, foi necessário o uso de máquinas costais e capina manual. Após essa etapa, foi refeito o coroamento utilizando uma enxada manual para remover a vegetação em um raio de 60 cm ao redor de cada muda. Além disso, foi feito um aceiro de aproximadamente 3 m de largura no perímetro externo à área plantada, visando proteger a área contra possíveis incêndios florestais. A avaliação dos tutores também foi realizada, corrigindo os que estavam caídos ou tortos (Figura 3).

Por fim, avaliaram as mudas plantadas por meio da observação direta, que indicou que as plantas estavam saudáveis e com o desenvolvimento esperado para esse estágio, o que levou à estimativa de uma boa taxa de sobrevivência.

No segundo relatório de monitoramento disponibilizado, foi citado que a previsão de substituição das plantas para o primeiro ano de plantio seria de 25% e, para o segundo ano, cerca de 15%.



Plantas invasoras ao redor do plantio



Roçagem sendo feita nas linhas de plantio



Roçagem sendo feita entre as plantas



Coroamento



Avaliação dos tutores



Desenvolvimento das plantas

Figura 3 - Atividades de manutenção que foram realizadas ao longo dos anos. Fotos: NOVACAP (2025)

No monitoramento feito entre 15/05/2018 e 21/09/2018, foi observada a perda de

25% das mudas plantadas, conforme a previsão inicial, sendo o replantio marcado para ser iniciado no período chuvoso. As mudas sobreviventes se apresentavam saudáveis, com altura variando entre 0,6 e 3 metros, sem sinais de comprometimento fitossanitário. Para identificar as espécies que se adaptaram melhor às condições da cascalheira e selecionar quais seriam utilizadas para o replantio (Anexo V), a área foi dividida em 20 glebas de diferentes dimensões, respeitando a configuração do terreno e considerando elementos presentes, como vegetação nativa, taludes e acessos internos. Os indivíduos foram avaliados e classificados em três grupos de altura: mudas com tamanho inferior a 1 metro, mudas entre 1 e 3 metros e mudas acima de 3 metros. Ao todo, 5.424 indivíduos foram encontrados na área.

Em todas as manutenções seguintes, foram repetidos os procedimentos já descritos, além de atividades como poda de formação para desbaste de ramos ortotrópicos ou brotos-ladrões, manutenção dos aceiros, controle de formigas e replantio das mudas que não sobreviveram. No início de 2019, foram replantadas 2.500 mudas. Já em 2020, foi realizado um segundo replantio, com a abertura de 1.500 berços.

Em 2020, foi realizada uma aferição de indicadores ecológicos por amostragem, por meio do caminhamento em 8 glebas selecionadas aleatoriamente (dentre as 20 glebas existentes, já citadas anteriormente neste texto). Em cada gleba, foi delimitada uma área amostral de 20 m x 50 m, alcançando um espaço amostral de 1.000 m², onde todos os indivíduos arbóreos foram contados. Partindo do princípio de que o plantio foi de 10.000 mudas em uma área de 8,204 ha, a densidade esperada seria de 1.218 indivíduos por hectare. Adequando esses valores para o respectivo espaço amostral, deveriam encontrar, em média, 121 indivíduos arbóreos em cada espaço. Esse valor foi utilizado como referência para aferir a população média e, também, auxiliar no replantio das 1.500 mudas.

Como resultado dessa aferição (Tabela 2), encontraram uma área 100% composta por vegetação arbórea e vegetação rasteira, sendo que somente 10% da cobertura vegetal estava composta por espécies exóticas perenes ou de ciclo longo. A área também apresentou uma boa riqueza arbórea, sendo encontradas 38 espécies nativas do Cerrado entre as utilizadas na implantação do PRAD. No entanto, foram identificadas manchas com presença de espécie exótica com potencial invasor, como mamona (*Ricinus communis*), leucena (*Leucaena leucocephala*) e margaridão (*Tithonia diversifolia*), requerendo atenção quanto ao controle e manejo dessas espécies para evitar impactos negativos na sucessão ecológica.

Tabela 2 - Resultados da aferição de indicadores ecológicos (2020)

ID GLEBA	AMOSTRA	REFERÊNCIA DE QUANT. DE INDIVÍDUOS	N.º DE INDIVÍDUOS ENCONTRADOS	N.º DE INDIVÍDUOS NÃO ENCONTRADOS	% DE INDIVÍDUOS ENCONTRADOS	% DE INDIVÍDUOS NÃO ENCONTRADOS
1	1	121	99	22	81,82	18,18
4	2	121	118	3	97,52	2,48
8	3	121	116	5	95,87	4,13
12	4	121	113	8	93,39	6,61
15	5	121	111	10	91,74	8,26
17	6	121	81	40	66,94	33,06
18	7	121	97	24	80,17	19,83
20	8	121	91	30	75,21	24,79
SOMA TOTAL		968	826	142		
MÉDIA					85,33	14,67

Observou-se desigualdade no número de indivíduos não encontrados entre as glebas, oscilando de 3 a 40 indivíduos ausentes (Tabela 2). Essa heterogeneidade pode estar relacionada às características intrínsecas de cada gleba, como as condições do sítio florestal (fertilidade do solo, topografia, entre outros), que influenciam diretamente o sucesso do estabelecimento das mudas. A proximidade de algumas glebas em relação à rodovia também pode ter contribuído para essa discrepância, uma vez que áreas próximas a estradas estão mais suscetíveis a interferências externas, como o furto de mudas ou estresses ambientais decorrentes da maior exposição ao calor e ao tráfego de pessoas e veículos. Além disso, intercorrências no momento do plantio podem ter comprometido o desenvolvimento das mudas, como o plantio com a embalagem plástica ainda envolta, a quebra do torrão radicular ao remover a embalagem, falhas na adubação de berços específicos, entre outros problemas operacionais.

Durante uma vistoria realizada em janeiro de 2022, foi verificado o corte de 64 indivíduos arbóreos decorrente do processo de roçagem, indicando a necessidade de replantio. Em 2023, o DPJ, em conjunto com a Divisão de Meio Ambiente (DIMAM), realizou um novo inventário utilizando a mesma metodologia aplicada em 2020. Para o parcelamento da área, empregou-se o método de amostragem casual simples, sendo lançadas 21 parcelas retangulares de 20 m x 50 m, somando uma área amostral de 2,1 ha, o correspondente a cerca de 26% da área total.

Em todas as parcelas, os indivíduos arbóreos-arbustivos foram contabilizados e identificados, incluindo árvores vivas e mortas em pé, além de uma análise geral das características de cada parcela. Também foi verificada a presença de indícios de fauna. A coleta de dados iniciou em 10 de maio e se estendeu até 30 de julho de 2023.

Para o índice de cobertura do solo, considerou-se a aparência de cada parcela e anotações de campo quanto à cobertura de capim ou presença de solo exposto, além da proporção de indivíduos de espécies nativas e exóticas em relação ao total de árvores identificadas nas parcelas. Em todas as parcelas amostradas, o solo estava coberto por serrapilheira ou por espécies do baixo estrato, e não havia sinais de processos erosivos. Foram identificados 2.002 indivíduos, sendo 1.867 de espécies do cerrado e 135 de espécies exóticas, além da presença de 5 árvores mortas em pé, que foram desconsideradas no cálculo do índice. Assim, o índice de cobertura do solo demonstrou uma cobertura de espécies nativas de 93,26%, enquanto para as espécies exóticas o valor foi de 6,74%.

O Índice de Shannon (H') foi usado para calcular a diversidade de espécies na

área, a partir do quantitativo de espécies verificadas em cada parcela alocada. Já o Índice de Pielou (J') foi utilizado para calcular a equabilidade da área, visando avaliar a uniformidade na distribuição dos indivíduos entre as espécies presentes. A riqueza da área foi de 73 espécies, e o Índice de Shannon apresentou um valor de 3,51 nats/indivíduo, evidenciando uma alta diversidade de espécies. No Anexo W, podem ser verificadas as espécies encontradas nas parcelas, juntamente com seus respectivos quantitativos. A equabilidade varia de 0 (muito desigual) a 1 (perfeitamente igual), e a área apresentou um valor de 0,82, mostrando que os indivíduos estão bem distribuídos entre as diferentes espécies existentes. Afirma-se, ainda, que caso houvesse um incremento de 18% no número de espécies, a área estudada atingiria a diversidade máxima da comunidade.

A densidade foi definida a partir da Amostragem Aleatória Simples, metodologia utilizada para estimar os parâmetros da população com base nos dados coletados em campo. Os resultados do inventário indicaram a presença de 1.088 indivíduos arbóreos por hectare, chegando ao valor estimado de 8.931 indivíduos arbóreos na área total e, deste valor, estima-se que 8.329 são de espécies nativas do cerrado.

Todos esses índices calculados em 2023 demonstraram que a área apresenta o predomínio de espécies nativas do cerrado, além de alta diversidade. Relata-se, também, que o processo de recuperação da área mostrou-se eficaz, evidenciado pela quantidade expressiva de mudas e rebrotas encontradas em algumas parcelas. Assim, a NOVACAP cumpriu sua obrigação legal de recuperar a área de exploração mineral conhecida como Cascalheira da Rajadinha, fato atestado no Termo de Quitação emitido pelo IBRAM.

3.3 Metodologia

Neste trabalho, serão avaliados o uso e cobertura da terra, a infiltração do solo, a temperatura do solo e o Índice de Vegetação Resistente à Atmosfera (ARVI) durante os anos de 2016 a 2023. Todas as análises e mapas foram produzidos no ArcGIS 10.8. Os gráficos foram confeccionados no MS-Excel.

3.3.1 Uso e Cobertura da Terra

Foram usados os mapas anuais de uso e cobertura da terra da Coleção 2 (beta) do MapBiomias com resolução espacial de 10 metros, que utilizam as imagens do satélite Sentinel-2 para a produção dos mapas. Os mapas foram baixados pelo Google Earth Engine (GEE), projetados para SIRGAS 2000 UTM Zona 23S e recortados utilizando a ferramenta 'Clip Raster'. Para a legenda, foi utilizada a mesma da coleção 9 do MapBiomias.

3.3.2 Infiltração do Solo

Para avaliar a infiltração do solo, foi utilizado o cálculo do Indicador de Significância Hídrica (HS) apresentado em Šatalová & Kenderessy (2017), no qual foram considerados os seguintes parâmetros: condições meteorológicas (quantidade de precipitação), geomorfologia (declividade), condições do solo (tipos de solo conforme a umidade e textura), hidrogeologia (transmissividade do solo), uso e cobertura da terra e estado ecológico da floresta.

Cada parâmetro foi classificado com base no seu impacto nas funções hídricas, recebendo um valor de escore e um de peso. Neste trabalho, os parâmetros foram ajustados para serem utilizados de acordo com a presente área de estudo.

A equação utilizada para calcular o HS é:

$$HS = 3,5S + 1,5T + 2,5Swet + 3Stext + 4PP + 2LU + 1F$$

Onde:

- S = declividade
- T = transmissividade do solo
- Swet = umidade do solo
- Stext = textura do solo
- PP = quantidade de precipitação
- LU = uso e cobertura da terra
- F = estado ecológico da floresta

3.3.2.1 Declividade (S)

Este dado foi baixado no Topodata/INPE e recortado para a área de estudo utilizando o ‘*Clip Raster*’. Também foi usada a ferramenta ‘*Reclassify*’ para reclassificar o raster com apenas duas classes, sendo elas: “<7” (escore 2) e “7,1 – 18” (escore 1). Quanto mais plana for a área, melhor é a infiltração.

3.3.2.2 Textura do solo (Stext), umidade do solo (Swet) e transmissividade do solo (T)

O dado utilizado para esses parâmetros pertence ao GDF e, para esta área de estudo, o solo encontrado foi o latossolo vermelho-escuro, descrito como “textura argilosa, muito argilosa ou média, distrófico, relevo plano a suave ondulado, profundo a muito profundo, com estrutura granular no horizonte A e estrutura grumosa em profundidade”.

A partir dessas informações, e tentando manter a coerência com o proposto no artigo de Šatalová & Kenderessy (2017), o parâmetro Stext foi definido como “orgânico argiloso” (escore -1), já Swet e T foram definidos como “baixa”, ambos com escore -1.

3.3.2.3 Uso e cobertura da terra (LU)

Para este parâmetro, foi utilizado o mesmo dado descrito no item 3.3.1. Com o auxílio da ferramenta ‘*Raster Calculator*’, foi gerado um arquivo raster para cada ano de interesse, de acordo com os valores de escores abaixo.

Tabela 3 - Valores de escores utilizados para calcular o parâmetro uso e cobertura da terra (LU)

Uso e cobertura da terra	Escore
Formação Savânica (4)	3,0
Campo Alagado (11)	3,0
Formação Graminóide (12)	2,0
Pastagens (15)	2,0
Lavoura Perene (36)	1,5
Mosaico de Usos (21)	1,0
Áreas Não Vegetadas (25)	-2,0

3.3.2.4 Precipitação (PP)

Como descrito no item 3.1, a precipitação média anual do DF varia entre 1.100 a 1.600 mm, fazendo com que esse parâmetro se encaixasse na classe “1200 – 1800” (escore 2). O parâmetro estado ecológico da floresta (F) foi desconsiderado no cálculo do HS, visto que não há informações suficientes sobre este tópico e, também, a área não apresentou nenhuma classificação relacionada a florestas quanto ao uso e cobertura da terra. O ‘*Raster Calculator*’ foi utilizado para calcular o HS de cada ano, aplicando os escores e pesos de cada parâmetro citado acima.

3.3.3 Temperatura do solo e Índice de Vegetação Resistente à Atmosfera (ARVI)

Com o objetivo de reduzir os efeitos da sazonalidade, todas as imagens selecionadas para cada ano analisado correspondem ao mês de agosto. Este mês foi escolhido por apresentar a menor incidência de nuvens na área de estudo durante o processo de seleção das imagens.

As imagens foram obtidas via GEE, utilizando dados do satélite Landsat 8. A única exceção foi o ano de 2022, pois não foi possível encontrar uma imagem adequada, livre de nuvens, nesse mesmo mês. Por esse motivo, especificamente para este ano, optou-se pela

utilização de uma imagem proveniente do satélite Landsat 9.

O ARVI é um índice de vegetação que corrige os efeitos atmosféricos de espalhamento causados por aerossóis, especialmente aqueles evidentes na banda do vermelho. Essa correção é feita a partir da diferença entre as reflectâncias do azul e do vermelho (Marcussi *et al.* 2010). Sua escolha foi motivada por não ser tão afetado pelos efeitos de dispersão atmosférica em relação a outros parâmetros de vegetação. Para adquirir as estatísticas desse índice, foi utilizada a ferramenta ‘*Zonal Statistics as Table*’ e, a partir desses dados, foi gerado um gráfico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No mapa de uso e cobertura da terra (fig. 4), é possível observar que a classe “Áreas Não Vegetadas” estava muito presente em 2016, representando 1,3 ha da área total e indicando uma região degradada. Em contrapartida, em 2023, essa mesma classe correspondia a apenas 0,17 ha da área total, o que evidencia uma recuperação gradual da região.

Entre os anos de 2016 e 2018, foram identificadas apenas quatro classes, evidenciando uma área significativamente mais homogênea do que em 2023. Isso se deve ao fato de que, em 2023, a área já se encontra em processo avançado de recuperação e, conseqüentemente, apresenta maior heterogeneidade.

Em 2020, observa-se a primeira aparição da classe “Campo Alagado”, representando um excelente indicativo de retorno da umidade para a área, além da classe “Formação Savânica”, que sinaliza um primeiro indício de retorno do cerrado *stricto sensu* e deu sinais de que, provavelmente, as espécies plantadas estavam conseguindo se adaptar à área.

No último ano analisado, a classe mais presente é “Mosaico de Usos”. Segundo a definição da Coleção 9 do MapBiomas, essa classe corresponde a áreas em que não é possível distinguir entre pastagem e agricultura, podendo incluir pastagens abandonadas em estágio inicial de regeneração da vegetação nativa; áreas antropizadas em zonas protegidas, com exceção de APA e Terras Indígenas; além de áreas de ocupação periurbana, como pequenas fazendas, propriedades rurais e conjuntos habitacionais. No contexto deste estudo, há uma mistura de espécies em função do processo de recuperação, o que dificulta a identificação e distinção do uso da terra.

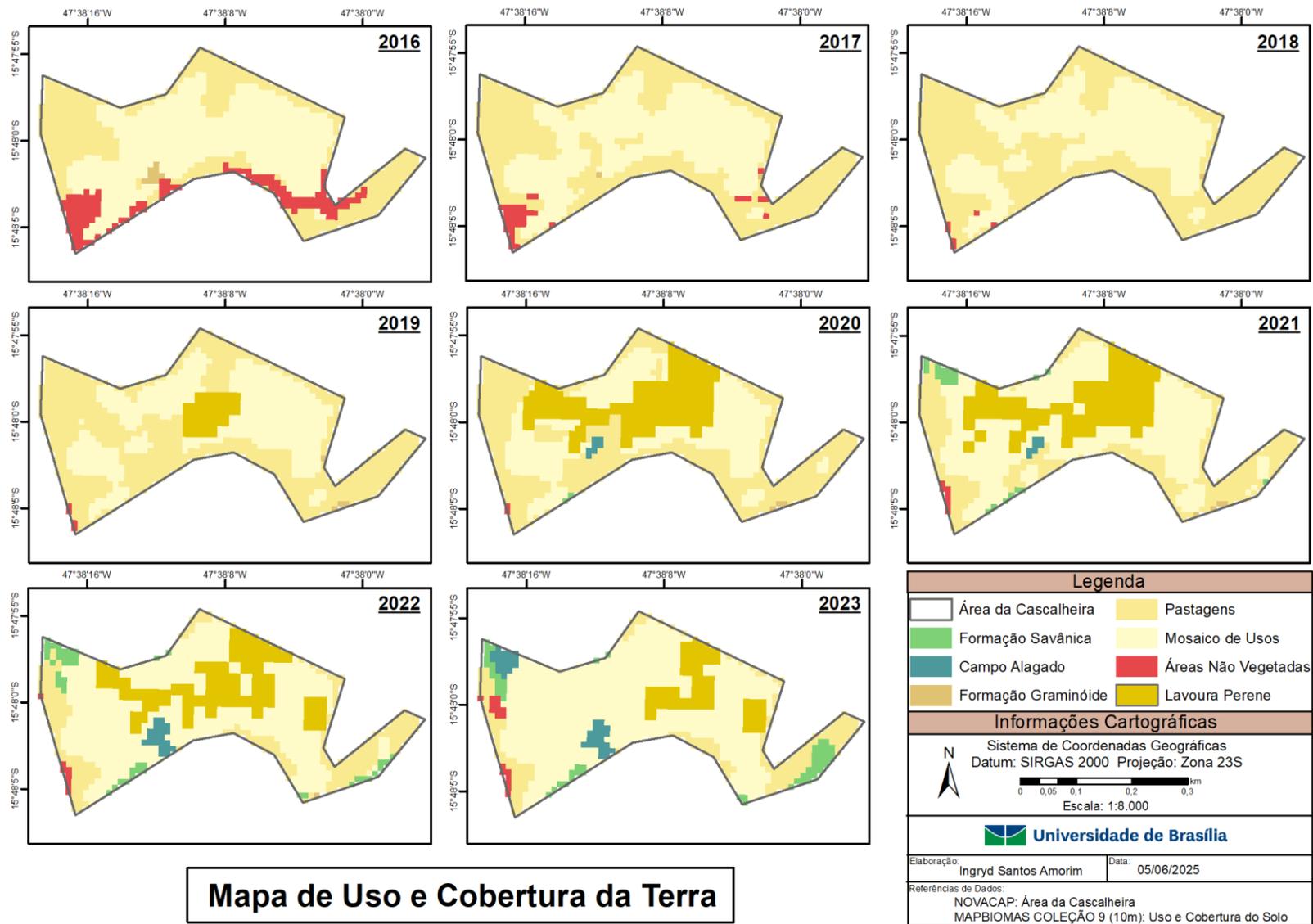


Figura 4 - Uso e Cobertura da Terra na área de estudo no período de 2016 a 2023

Betrie *et al.* (2011) afirmam que o balanço hídrico é regulado pelos serviços de infiltração e interceptação, os quais, por sua vez, são influenciados pelo uso e cobertura da terra. Para realizar o cálculo da HS, também foram calculados os escores do parâmetro LU, que evidenciam o que foi mencionado anteriormente sobre as classes de uso e cobertura da terra, nas quais se pode visualizar a forte presença de “Áreas Não Vegetadas” em 2016 e o aumento de “Formação Savânica”, “Campo Alagado” e “Mosaico de Usos” em 2023 (Figura 5).

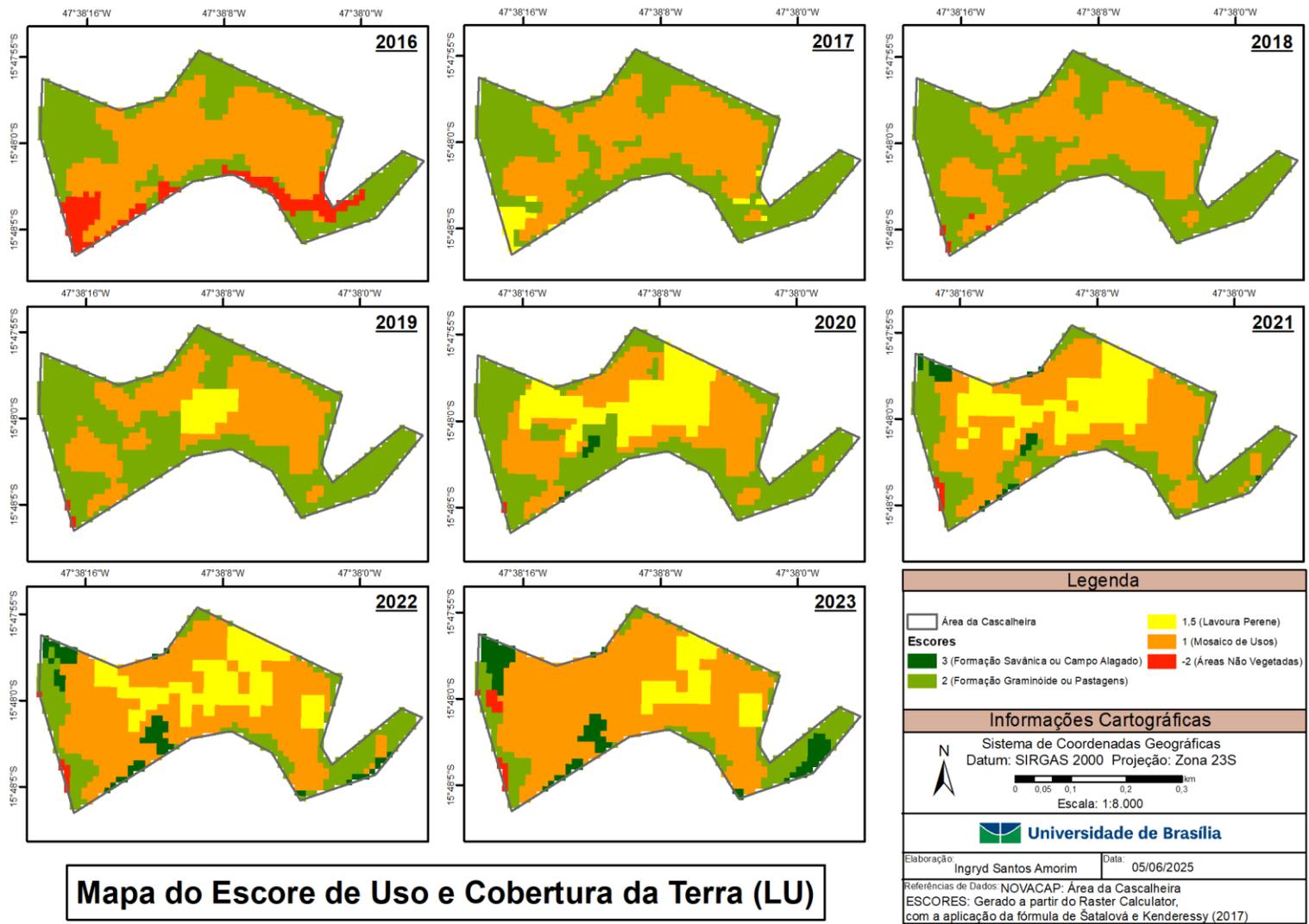


Figura 5 - Escores dos Usos e Coberturas da Terra (LU) na área de estudo no período de 2016 a 2023.

No mapa de significância hídrica (fig. 6), percebe-se que a classe “excelente” não foi alcançada. Contudo, também não há presença da pior classe, denominada “limitada”, representada por valores iguais ou abaixo de zero. A maior parte da Cascalheira apresenta uma significância hídrica classificada como “média”.

Essa predominância da categoria “média” está de acordo com as observações feitas por Teixeira *et al.* (2025) na área por eles analisada, onde essa classificação era mais predominante em regiões antropizadas, o que corresponde ao cenário da Cascalheira, uma vez que a área sofreu intensas alterações ambientais decorrentes da exploração do cascalho.

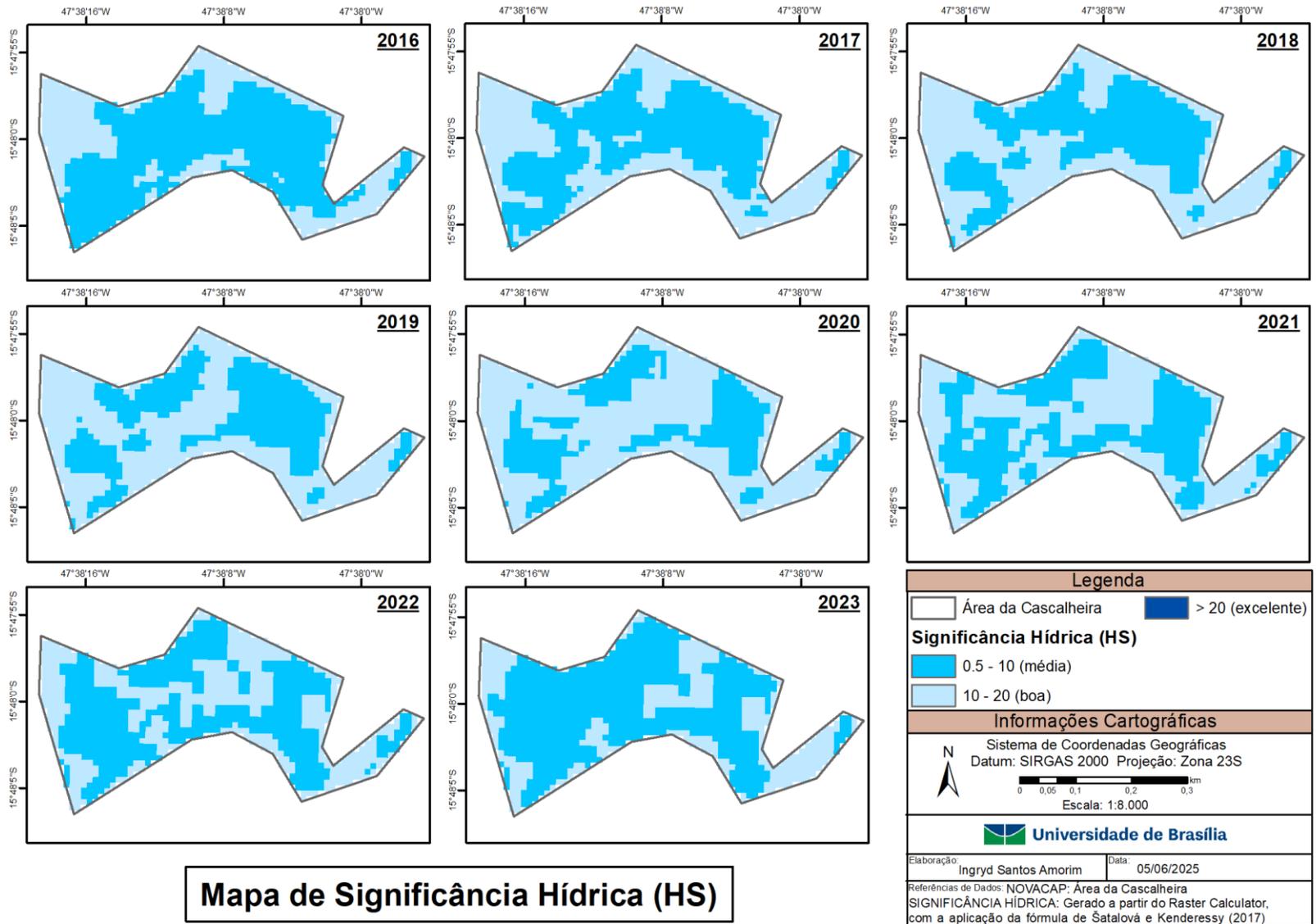


Figura 6 - Significância Hídrica (HS) na área de estudo no período de 2016 a 2023

Ao analisar os valores de HS (Anexo X), observa-se que, em 2016, existiam apenas quatro valores distintos, enquanto em 2023 foram identificados sete. Embora esses novos valores não sejam suficientes para alterar a classificação do HS, eles constituem bons indicadores de aumento na capacidade de infiltração do solo.

Observou-se que a média do HS apresenta um aumento até 2019, diminuindo na sequência (Figura 7). Esse padrão é um comportamento típico de áreas em recuperação. Inicialmente, percebe-se um aumento dos valores devido às intervenções realizadas na área, como adubação, descompactação do solo e plantio de vegetação nativa, que acabam por melhorar a capacidade de infiltração. Em seguida, ocorre uma diminuição desses valores à medida que a vegetação cresce e utiliza mais a água disponível no sistema. Futuramente, espera-se uma estabilização, conforme a vegetação atinja um amadurecimento e o sistema vá se equilibrando.

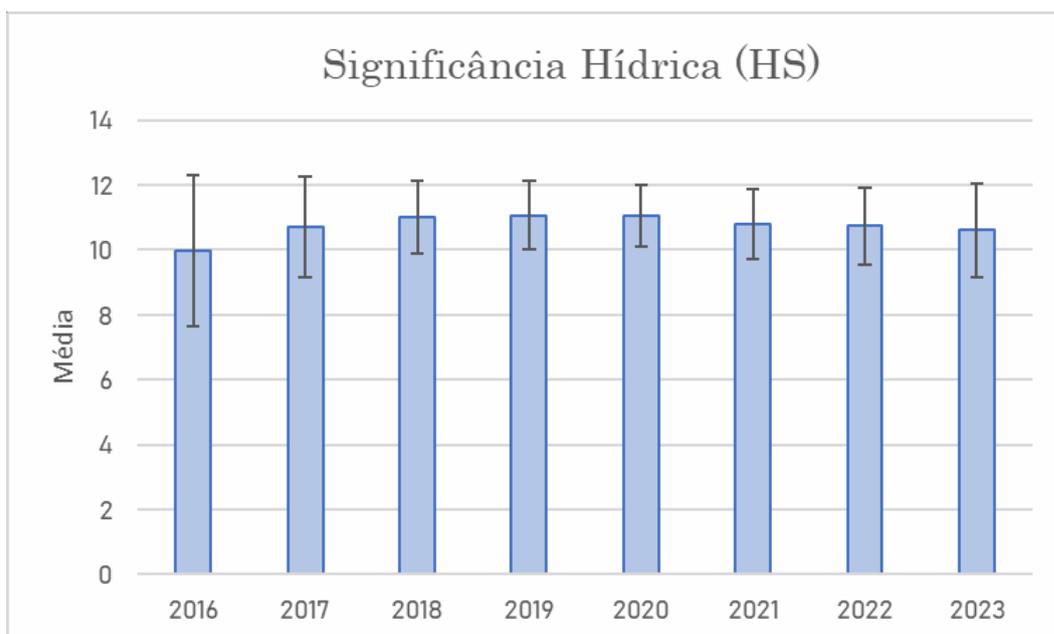


Figura 7 - Distribuição das médias anuais da Significância hídrica (HS) na área de estudo, no período de 2016 a 2023

A temperatura do solo apresentou resultados positivos. Em 2016, a média registrada foi de 40°C. Em contrapartida, no ano de 2023, observou-se uma média de 32°C, o que representa uma queda de 8°C desde a implementação do PRAD (Figura 8).

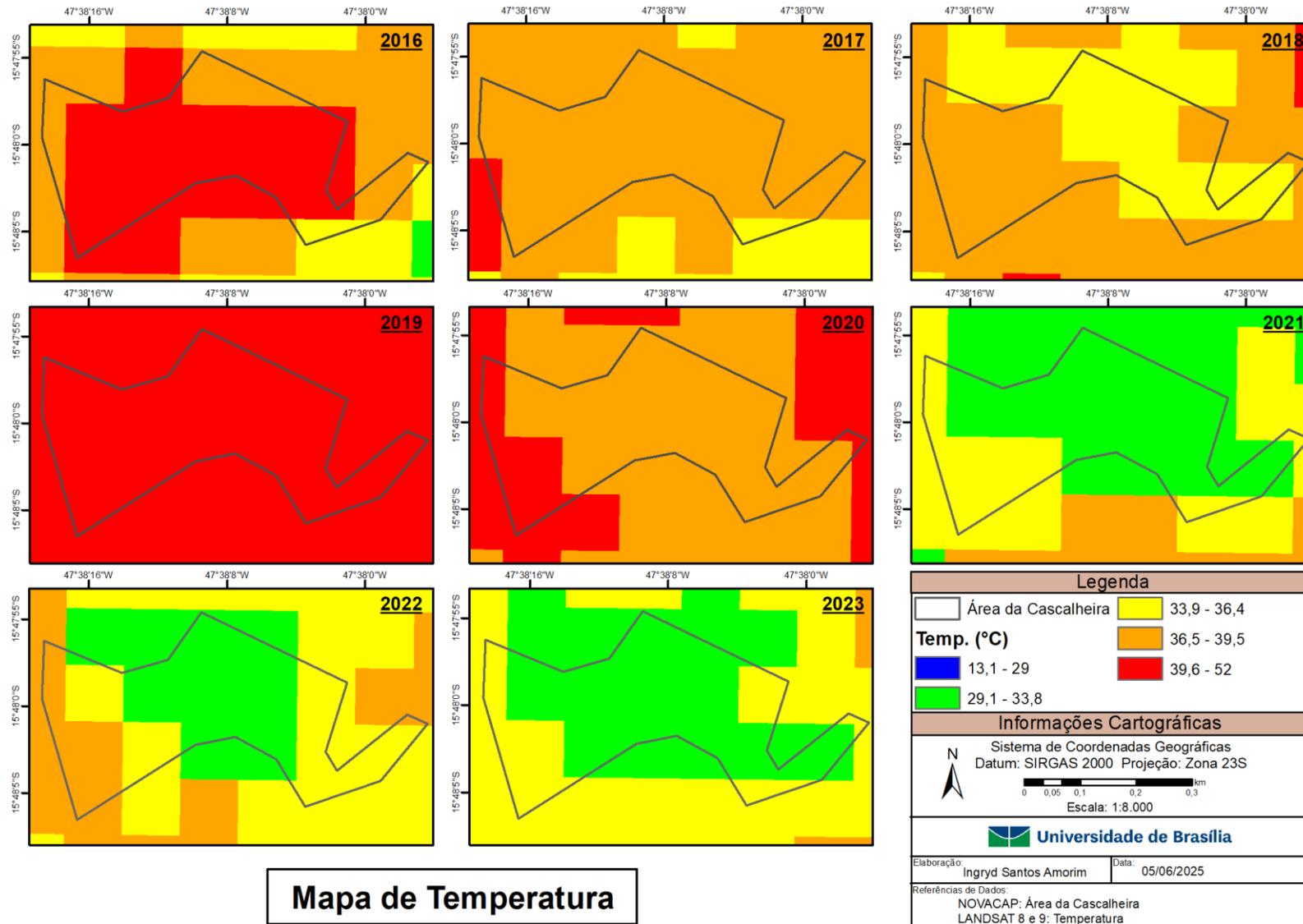


Figura 8 - Temperatura de superfícies na área de estudo, no período de 2016 a 2023. Média 2016 = $40,29 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1,30\sigma$; Média 2023 = $32,65 \pm 1,59\sigma$

Em 2019, percebe-se um aumento drástico na temperatura da área, quebrando o padrão de diminuição que vinha sendo estabelecido. Segundo a *World Meteorological Organization* (WMO, 2020), no ano de 2019 foram registradas diversas ondas de calor intensas. Apesar da atuação amena do *El Niño-Oscilação Sul* (ENOS)¹ durante o primeiro semestre de 2019, esse fenômeno pode ter colaborado, ainda que de forma modesta, para o aumento das temperaturas globais. A média global da temperatura em 2019 superou em 1,1 °C as médias estimadas para o período pré-industrial (1850–1900), e, na época, levantou-se a possibilidade de ter sido o segundo ano mais quente já documentado.

Outro ponto abordado pela WMO (2020) foi que determinadas áreas da América do Sul apresentaram níveis de precipitação excepcionalmente baixos. Além disso, observou-se que o número de dias secos consecutivos (*Consecutive Dry Days* - CDD) foi mais prolongado do que o normal para a região central e sul da América do Sul.

O ARVI é um índice que reflete a quantidade de vegetação presente na área, bem como as condições de fotossíntese. Na Figura 9, observa-se um aumento na média do ARVI ao longo do período de 2016 a 2023, mostrando um crescimento na vegetação da área. O desvio padrão também aumentou (2016: $\sigma = 0,05$; 2023: $\sigma = 0,12$), o que pode ser atribuído à maior diversidade de classes de uso e cobertura da terra após a implementação do PRAD, em contraste com 2016, quando a área ainda se encontrava degradada.

Em 2022, houve uma leve queda na média do ARVI, cuja possível explicação está relacionada ao fato de que a imagem utilizada para esse ano foi obtida a partir do satélite Landsat 9, conforme explicado anteriormente no item 3.3.3, devido à impossibilidade de encontrar uma imagem sem nuvens no mês de agosto utilizando o Landsat 8. As imagens dos demais anos foram todas obtidas a partir do Landsat 8.

¹ Durante o El Niño, as temperaturas da superfície do mar ficam acima da média no Pacífico oriental e ocorre uma diminuição na intensidade dos ventos alísios, influenciando um aumento da temperatura global (WMO, 2020).

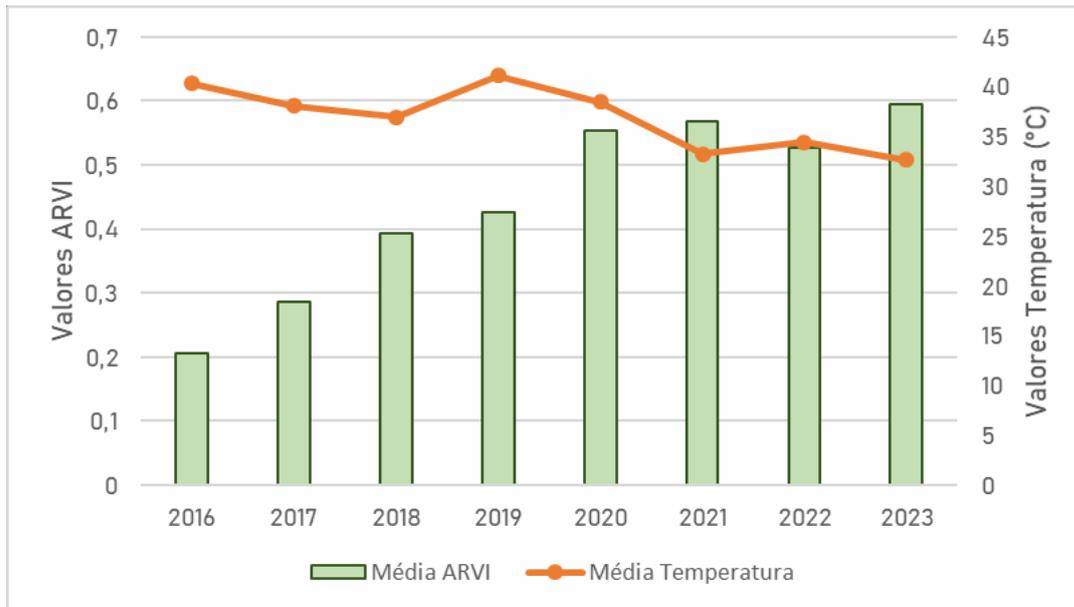


Figura 9 - Variação da média do índice de vegetação (ARVI) e da temperatura na área de estudo, no período de 2016 a 2023

Como mais um indicador ecológico, o retorno da fauna à área foi registrado pela NOVACAP, que disponibilizou dados sobre a presença de diferentes espécies animais, entre os quais se destacam: tocas de tatu; ninhos de pássaros; registro de jiboia; identificação de áreas com indícios da presença de aranhas; presença de saguis; observação de diversos arranhões em troncos de árvores, sugerindo a presença de animais silvestres; além de borboletas e abelhas. A área também apresentou uma excelente deposição de serrapilheira, colaborando para a melhora da ciclagem de nutrientes, a proteção do solo contra a erosão e a regulação da umidade no solo.

Assim, fica evidente que a implantação do PRAD contribuiu significativamente para a melhora e a disponibilidade de diversos serviços ecossistêmicos na área, tais como: regulação climática, uma vez que ocorreu a redução da temperatura local e o aumento da umidade; controle da erosão, devido à presença de vegetação e serrapilheira, que proporcionam maior proteção ao solo; polinização, evidenciada pela presença de abelhas na área, indicando o retorno de agentes polinizadores; ciclagem de nutrientes, proporcionada pela deposição de serrapilheira; aumento da fotossíntese, em razão das espécies introduzidas, entre outros. Além disso, também houve melhora na biodiversidade da área, em função da restauração da vegetação e do retorno da fauna.

5 CONCLUSÕES

Os resultados das análises de parâmetros físicos e bióticos, como uso e cobertura da terra, índice de vegetação, capacidade de infiltração e temperatura do solo, permitiram comparar os efeitos da implementação de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) na Cascalheira da Rajadinha, entre os anos de 2016 e 2023. O sensoriamento remoto demonstrou ser uma ferramenta eficaz na avaliação do grau de recuperação ambiental da área. Isso possibilitou a identificação de uma redução perceptível da temperatura do solo, o surgimento da classe “Formação Savânica” no uso e cobertura da terra, e o aumento da umidade do solo e da heterogeneidade vegetal.

Os resultados obtidos estão em consonância com os dados fornecidos pela Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (NOVACAP), confirmando o sucesso da recuperação da área. Essa confirmação se deu por meio da análise conjunta dos dados de sensoriamento remoto e dos levantamentos de campo realizados pela NOVACAP, que indicaram um aumento da cobertura e densidade de espécies nativas, alta diversidade e equabilidade, bem como registros do retorno da fauna ao local.

A recuperação da Cascalheira contribuiu positivamente para a restauração dos serviços ecossistêmicos, como a regulação climática, a polinização e o aumento da fotossíntese. Esses resultados reafirmam a importância dos PRADs e o cumprimento da obrigação legal de recuperar áreas exploradas por recursos minerais, conforme estabelecido pela Constituição Federal de 1988.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para pesquisas futuras, recomenda-se o monitoramento contínuo da área, a fim de avaliar a sustentabilidade a longo prazo dos serviços ecossistêmicos restaurados. Além disso, seria relevante realizar estudos mais aprofundados sobre a dinâmica populacional das espécies de fauna que retornaram ao local, bem como das espécies de flora que se estabeleceram na área.

Outro estudo interessante seria a comparação do uso e cobertura da terra ao longo de diferentes meses do ano. No presente estudo, optou-se por agosto, um mês mais seco, que pode influenciar as classes de uso e cobertura da terra, pois muitos indivíduos já estão perdendo suas folhas. Uma comparação com imagens de meses mais úmidos também poderia fornecer informações complementares e relevantes sobre a dinâmica sazonal da vegetação.

7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Danilo Sette de. **Legislação básica aplicada à recuperação ambiental**. *In: Recuperação ambiental da Mata Atlântica* [online]. 3rd ed. rev. and enl. Ilhéus, BA: Editus, 2016, pp. 32-39. ISBN 978-85-7455-440-2. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/8xvf4/pdf/almeida-9788574554402-04.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2025.

ALMEIDA, Danilo Sette de. **Plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD)**. *In: Recuperação ambiental da Mata Atlântica* [online]. 3rd ed. rev. and enl. Ilhéus, BA: Editus, 2016, pp. 140-158. ISBN 978-85-7455-440-2. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/8xvf4/pdf/almeida-9788574554402-10.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2025.

BARROS, Cirilo Fonseca. **Relatório de Execução de Serviço da DIAVE/DP/DU**. Brasília, DF: Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil, 2023. 11 p.

BETRIE, G. D.; MOHAMED, Y. A.; van GRIENSVEN, A.; SRINIVASAN, R. **Sediment management modelling in the Blue Nile Basin using SWAT model**. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 807–818, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-15-807-2011>. Acesso em: 30 jun. 2025.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 15 jun. 2025.

BRASÍLIA (Capital Federal). Companhia Ambiental de Saneamento do Distrito Federal. **Primeiro relatório semestral de aplicação de lodo de esgoto no projeto Cascalheira Rajadinha**. Brasília, DF: CAESB, 2015. 11 p.

BRASÍLIA (Capital Federal). Companhia Ambiental de Saneamento do Distrito Federal. **Quarto relatório semestral de aplicação de lodo de esgoto no projeto Cascalheira Rajadinha**. Brasília, DF: CAESB, 2017. 17 p.

BRASÍLIA (Capital Federal). Companhia Ambiental de Saneamento do Distrito Federal. **Segundo relatório semestral de aplicação de lodo de esgoto no projeto Cascalheira Rajadinha**. Brasília, DF: CAESB, 2016. 14 p.

BRASÍLIA (Capital Federal). Companhia Ambiental de Saneamento do Distrito Federal. **Terceiro relatório semestral de aplicação de lodo de esgoto no projeto Cascalheira Rajadinha**. Brasília, DF: CAESB, 2016. 17 p.

BRASÍLIA (Capital Federal). Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal. **Termo de Quitação - IBRAM/PRESI**. Brasília, DF: IBRAM, 2024.

COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL. Distrito Federal: **Atlas do Distrito Federal 2020**, p. 18-42. Disponível em: <https://www.codeplan.df.gov.br/atlas-do-distrito-federal-2020/>. Acesso em: 19 jun. 2025.

COMPANHIA URBANIZADORA DA NOVA CAPITAL DO BRASIL. Divisão de Implantação de Áreas Verdes. **5º Relatório de Monitoramento do PRAD**. Brasília, DF: NOVACAP, 2019. n° 5. 9 p.

COMPANHIA URBANIZADORA DA NOVA CAPITAL DO BRASIL. Divisão de Implantação de Áreas Verdes. **6º Relatório de Monitoramento do PRAD**. Brasília, DF: NOVACAP, 2019. n° 6. 8 p.

COMPANHIA URBANIZADORA DA NOVA CAPITAL DO BRASIL. Divisão de Implantação de Áreas Verdes. **7º Relatório de Monitoramento do PRAD**. Brasília, DF: NOVACAP, 2020. n° 7. 11 p.

COMPANHIA URBANIZADORA DA NOVA CAPITAL DO BRASIL. Divisão de Implantação de Áreas Verdes. **Relatório de Implantação do PRAD**. Brasília, DF: NOVACAPI, 2017. 7 p.

COMPANHIA URBANIZADORA DA NOVA CAPITAL DO BRASIL. Divisão de Implantação de Áreas Verdes. **Relatório de Monitoramento Compensação Florestal**. Brasília, DF: NOVACAP, 2018. 11 p.

COMPANHIA URBANIZADORA DA NOVA CAPITAL DO BRASIL. Divisão de Implantação de Áreas Verdes. **Relatório de Monitoramento do PRAD**. Brasília, DF: NOVACAP, 2017. n° 1. 8 p.

COMPANHIA URBANIZADORA DA NOVA CAPITAL DO BRASIL. Divisão de Implantação de Áreas Verdes. **Relatório de Monitoramento do PRAD**. Brasília, DF: NOVACAP, 2017. n° 2. 6 p.

COMPANHIA URBANIZADORA DA NOVA CAPITAL DO BRASIL. Divisão de Implantação de Áreas Verdes. **Relatório de Monitoramento do PRAD**. Brasília, DF: NOVACAP, 2018. n° 3. 16 p.

COMPANHIA URBANIZADORA DA NOVA CAPITAL DO BRASIL. Divisão de Implantação de Áreas Verdes. **Relatório de Monitoramento do PRAD**. Brasília, DF: NOVACAP, 2019. n° 4. 14 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Planaltina, DF: Boletim agrometeorológico do ano 2020 para Planaltina, DF, 2021-. ISSN 2176-5081 versão *online*. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1140495/1/Doc-389.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Planaltina, DF: Precipitação Pluviométrica em Planaltina, DF: análise de dados da estação principal da Embrapa Cerrados, 1974 a 2003, 2010-. ISSN 2176-509X versão *online*. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/920306/1/bolpdp299.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Diretoria de Controle e Fiscalização, Departamento de Registro e Licenciamento. **Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração: Técnicas**

de **Revegetação**/IBAMA. Brasília, DF: IBAMA, 1990. 96 p. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/ManualdeRecuperacaodeareasDegradadaspelaMineracao.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2025.

JÚNIOR, José Antônio Licassali. **Relatório de Execução de Serviço da DIAVE/DP/DU**. Brasília, DF: Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil, 2023. 2 p.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klassifikation der Klimate nach ihren Bestandteilen** [Classification of climates according to their components]. In: Handbuch der Klimatologie, Band I, Teil C. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1936.

MARCUSSI, Aline Braga; BUENO, Célia Regina Paes; MIQUELONI, Daniela Popim; ARRAES, Christiano Luna. **Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica**. Uberlândia: Caminhos de Geografia, 2010, v. 11, n. 35, p. 41–53. DOI: [10.14393/RCG113516000](https://doi.org/10.14393/RCG113516000). Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16000>. Acesso em: 30 jun. 2025.

MENDONÇA, Isabele Sena; VERONEZ, Diana; BUENO, Patrícia Costa. **Relatório Final da Recuperação Ambiental Cascalheira Rajadinha**. Brasília, DF: Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil, 2023. 22 p.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Washington, DC: Island Press, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/297563785_Millennium_Ecosystem_Assessment_Ecosystems_and_human_well-being_synthesis. Acesso em: 29 jun. 2025.

OLIVEIRA, Paulo César Arrieiro de. **Avaliação das propriedades mecânicas da mistura de fresado e cascalho laterítico estabilizada com cimento**. 2018. 1 recurso online (208 p.) Tese (doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/Acervo/Detalle/1167581>. Acesso em: 24 jun. 2025.

OLIVEIRA, Tércio Cursino de; JÚNIOR, José Antônio Licassali. **Relatório Técnico de Monitoramento e Avaliação nº 4/2022**. Brasília, DF: Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil, 2022. 19 p.

OLIVEIRA, Tércio Cursino de. **Relatório Técnico de Monitoramento e Avaliação nº 8/2022**. Brasília, DF: Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil, 2022. 4 p.
RAMOS, Andrea; ALVES, Lincoln; MARENGO, José; LUIZ, Rafael; DINIZ, Francisco. **Annual Climate Report of Brazil - 2019**. Ano 02 - Número 02, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/349465726_Annual_Climate_Report_of_Brazil_-_2019_Year_02_-_Number_02_2020. Acesso em: 30 jun. 2025.

REZENDE, Elcio Nacur; COELHO, Hebert Alves. **Impactos ambientais decorrentes da construção de estradas e suas consequências na responsabilidade civil**. Brasília: Revista do Mestrado em Direito da UCB, Jul-Dez, 2015, v. 9, nº 2, p. 155-180.

RIO DE JANEIRO (Estado). Departamento Administrativo do Serviço Público, Serviço de Documentação. **O Relatório técnico sobre a nova capital da República**. Rio de Janeiro: Departamento Administrativo do Serviço Público, Serviço de Documentação, 1957. 2. ed. 291p. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/handle/id/185570>. Acesso em: 22 maio 2025.

ŠATALOVÁ, Barbora; KENDERESSY, Pavol. **Assessment of water retention function as tool to improve integrated watershed management (case study of Poprad river basin, Slovakia)**. Bratislava, Eslováquia: Science of The Total Environment, 2017. 599-600: 1082-1089.

TEIXEIRA, Marcela; MATRICARDI, Eraldo; PIRES, José. **The importance of conservation for the provision of ecosystem services in flood control**. Brazilian Journal of Biology, 2025, vol. 85, e292248. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.292248>. Acesso em: 04 jun. 2025.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **WMO Statement on the State of the Global Climate in 2019**. Genebra, Suíça: World Meteorological Organization, 2020. WMO-nº. 1248. ISBN 978-92-63-11248-4. Disponível em: https://library.wmo.int/viewer/56228?medianame=1248_en_#page=1&viewer=picture&o=download&n=0&q=. Acesso em: 29 jun. 2025.

ANEXOS

Anexo I: Vista aérea da área de estudo antes da implantação do PRAD (06/2015).



Fonte: Google Earth.

Anexo II: Vista aérea da área de estudo antes da implantação do PRAD (06/2016).



Fonte: Google Earth.

Anexo III: Vista aérea da área de estudo no ano da implantação do PRAD (06/2017).



Fonte: Google Earth (2025).

Anexo IV: Vista aérea da área de estudo feita por drone (22/06/2023).



Fonte: NOVACAP (2025).

Anexo V: Vista aérea da área de estudo feita por drone (22/06/2023).



Fonte: NOVACAP (2025).

Anexo VI: Vista aérea da área de estudo feita por drone (22/06/2023).



Fonte: NOVACAP.

Anexo VII: Carcaça de tatu encontrada na área.



Fonte: NOVACAP (2025).

Anexo VIII: Registro de ovos eclodidos de pássaros silvestres.



Fonte: NOVACAP (2025).

Anexo IX: Identificação de serpente Jiboia (*Boa constrictor*).



Fonte: NOVACAP (2025).

Anexo X: Registro de Gafanhoto.



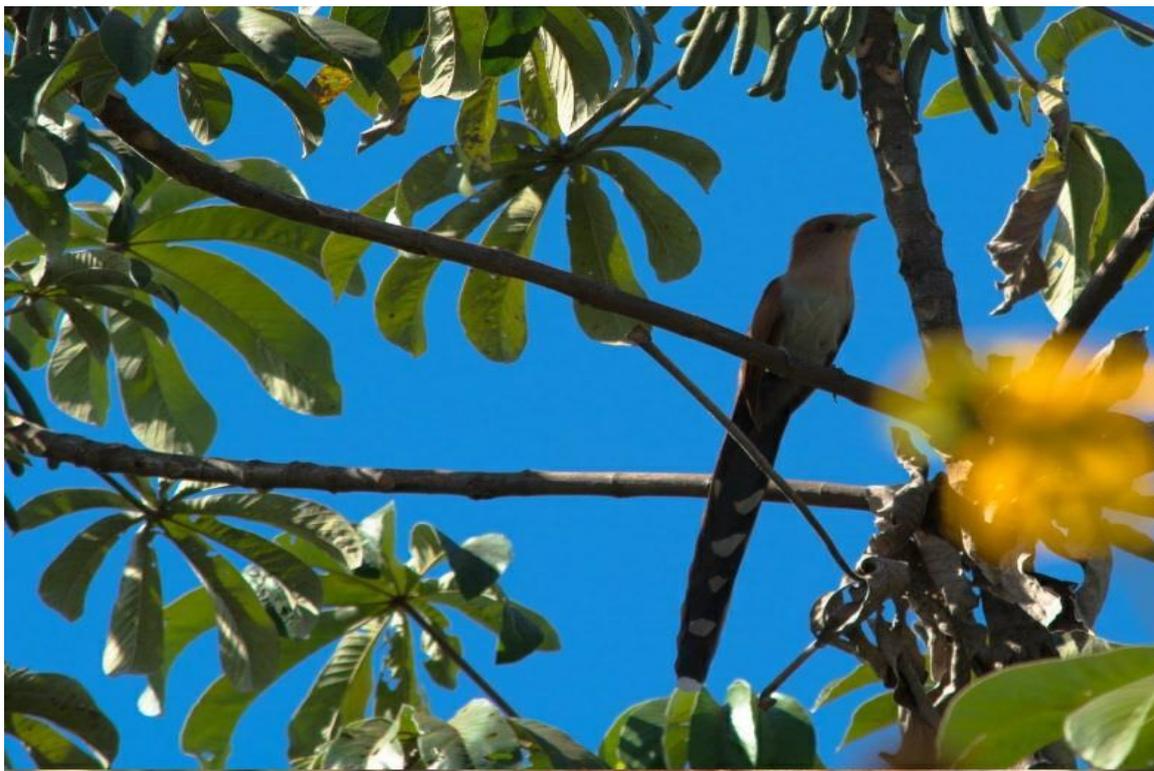
Fonte: NOVACAP (2025).

Anexo XI: Identificação de Saguí (*Callithrix* sp.).



Fonte: NOVACAP (2025).

Anexo XII: Registro de pássaro.



Fonte: NOVACAP (2025).

Anexo XIII: Registro de toca de tatu (25/06/2025).



Fonte: acervo pessoal.

Anexo XIV: Arranhões no tronco da espécie Gonçalo-Alves (*Astronium fraxinifolium*).



Fonte: NOVACAP.

Anexo XV: Arranhões no tronco da espécie Aroeira-branca (*Lithraea molleoides*).



Fonte: NOVACAP (2025).

Anexo XVI: Concha encontrada na área, indicando a possível presença de caracol (25/06/2025).



Fonte: acervo pessoal (2025).

Anexo XVII: Visualização da profundidade de serrapilheira depositada sobre o solo (25/06/2025).



Fonte: acervo pessoal (2025).

Anexo XVIII: Visualização de serrapilheira depositada sobre o solo (25/06/2025).



Fonte: acervo pessoal (2025).

Anexo XIX: Identificação de área remanescente da cascalheira (25/06/2025).



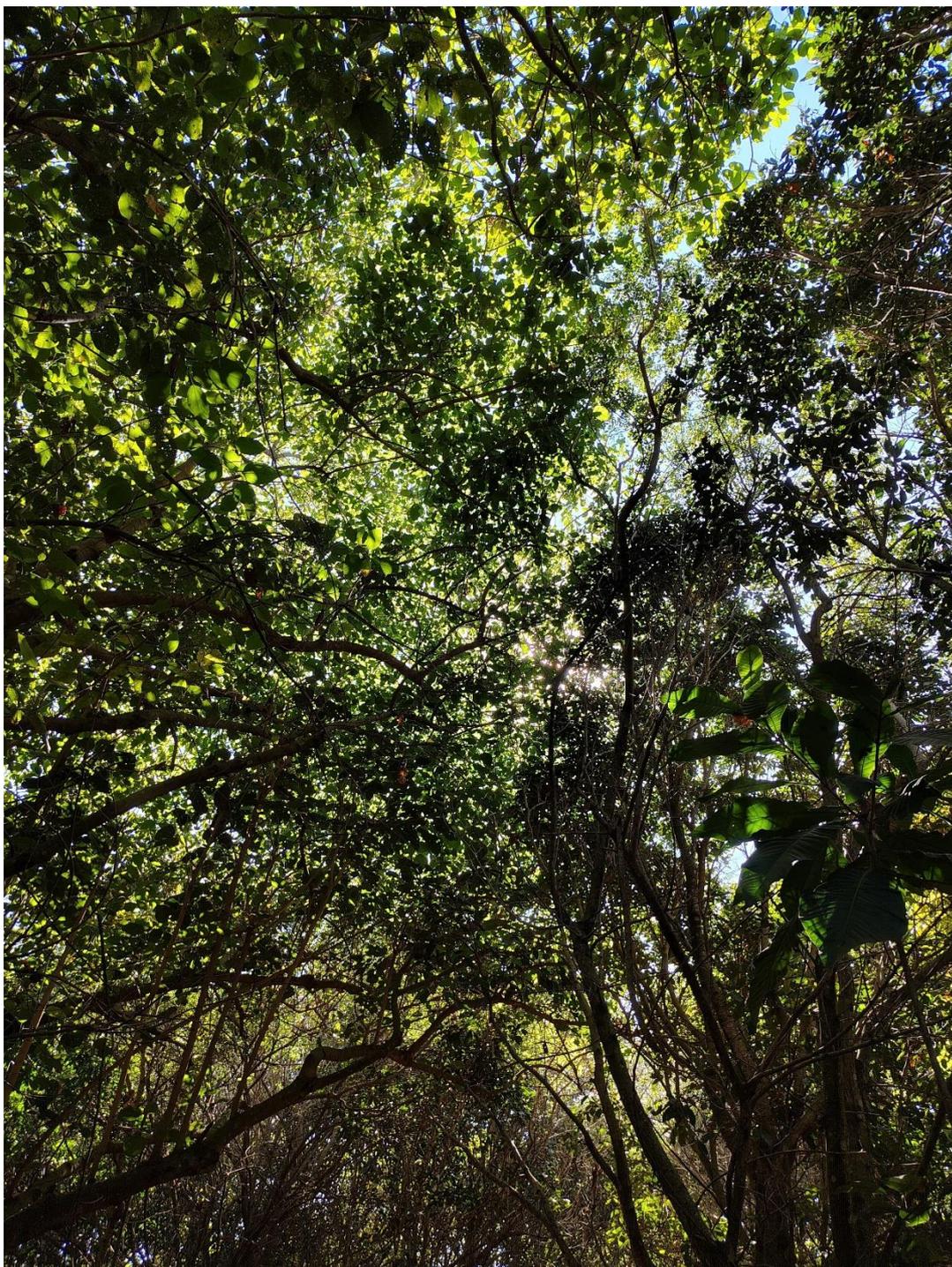
Fonte: acervo pessoal (2025).

Anexo XX: Observa-se parte da área, com destaque para a serrapilheira depositada no solo (25/06/2025).



Fonte: acervo pessoal (2025).

Anexo XXI: Observação do dossel em parte da área (25/06/2025).



Fonte: acervo pessoal (2025).

Anexo XXII: Relação de espécies usadas para o replantio de 2019.

Nome científico	Nome comum	Quantidade
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	Angico preto	105
<i>Astronium urundeuva</i>	Aroeira	260
<i>Sterculia striata</i>	Chichá	65
<i>Astronium fraxinifolium</i>	Gonçalo Alves	210
<i>Inga marginata</i>	Ingá colar	210
<i>Inga fagifolia</i>	Ingá mirim	315
<i>Amburana cearensis</i>	Imburana	210
<i>Tabebuia roseo-alba</i>	Ipê branco	175
<i>Tabebuia impetiginosa</i>	Ipê roxo	50
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Landim	205
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Mutamba	210
<i>Triplaris pachau</i>	Pajeú	210
<i>Aspidosperma subincanum</i>	Peroba branca	170
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Tamboril da mata	105

Fonte: NOVACAP.

Anexo XXIII: Tabela de espécies identificadas nas parcelas alocadas em 2023, e seus respectivos quantitativos.

Espécies encontradas	Quantidade - indivíduos
<i>Acacia auriculiformis</i>	3
<i>Adenanthera pavonina</i>	2
<i>Aegiphila verticillata</i>	3
<i>Alchornea glandulosa</i>	25
<i>Amburana cearenses</i>	12
<i>Anadenanthera colubrina</i>	33
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i>	77
<i>Apuleia leiocarpa</i>	2
<i>Aspidosperma</i> sp.	1
<i>Aspidosperma subincanum</i>	8
<i>Astronium fraxinifolium</i>	48
<i>Astronium urundeuva</i>	78
<i>Baccharis dracunculifolia</i>	2
<i>Bauhinia blakeana</i>	39
<i>Bauhinia rufa</i>	2
<i>Byrsonima basiloba</i>	1
<i>Calophyllum brasiliense</i>	7
<i>Cariniana rubra</i>	1
<i>Caryocar brasiliense</i>	1
<i>Casearia sylvestris</i>	1
<i>Cecropia pachystachya</i>	57
<i>Cedrela fissilis</i>	34
<i>Ceiba speciosa</i>	81
<i>Clitoria fairchildiana</i>	27
<i>Dalbergia miscolobium</i>	4
<i>Dimorphandra mollis</i>	6
<i>Dipteryx alata</i>	4
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	28
<i>Ferdinandusa elliptica</i>	1
<i>Genipa americana</i>	56
<i>Gmelina arborea</i>	25
<i>Guarea guidonia</i>	24
<i>Guazuma ulmifolia</i>	86
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	27
<i>Handroanthus serratifolius</i>	67
<i>Hymenaea courbaril</i>	14
<i>Inga cylindrica</i>	35
<i>Inga edulis</i>	2
<i>Inga laurina</i>	152

<i>Inga marginata</i>	68
<i>Jacaranda cuspidifolia</i>	24
<i>Kielmeyera coriacea</i>	5
<i>Leucaena leucocephala</i>	18
<i>Libidibia férrea</i>	1
<i>Melia azedarach</i>	3
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i>	8
<i>Moquilea tomentosa</i>	2
<i>Morus nigra</i>	2
<i>Mutingia calabura</i>	3
<i>Myroxylon balsamum</i>	2
<i>Piper arboreum</i>	1
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	17
<i>Platymiscium floribundum</i>	7
<i>Pleroma granulosum</i>	6
<i>Pseudobombax grandiflorum</i>	12
<i>Psidium guajava</i>	3
<i>Sapindus saponária</i>	60
<i>Schinus molle</i>	4
<i>Schinus terebinthifolia</i>	21
<i>Senegalia polyphylla</i>	105
<i>Solanum lycocarpum</i>	4
<i>Solanum paniculatum</i>	131
<i>Sterculia striata</i>	88
<i>Syzygium</i> sp.	3
<i>Tabebuia roseo-alba</i>	81
<i>Tachigali vulgaris</i>	1
<i>Talisia esculenta</i>	1
<i>Tapirira guianensis</i>	6
<i>Terminalia argentea</i>	10
<i>Terminalia corrugata</i>	26
<i>Triplaris gardneriana</i>	200
<i>Vernonanthura ferrugínea</i>	2
<i>Xylopia aromatica</i>	1
Total:	2002

Fonte: NOVACAP (2025).

Anexo XXIV: Tabela demonstrando os valores da Significância Hídrica (HS) do ano de 2016 e 2023.

Valores da Significância Hídrica (HS) - 2016	Valores da Significância Hídrica (HS) - 2023
4,0	4,0
8,5	8,5
10,0	10,0
12,0	10,5
–	11,0
–	12,0
–	14,0

