

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

GABRIEL LUIZ SILVA GOLD

ANÁLISE DO PROCESSO EROSIVO NA FAZENDA DO BURITI EM UBERLÂNDIA-MG:
DIAGNÓSTICO E PROPOSTAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

UBERLÂNDIA

2025

GABRIEL LUIZ SILVA GOLD

ANÁLISE DO PROCESSO EROSIVO NA FAZENDA DO BURITI EM UBERLÂNDIA-MG:
DIAGNÓSTICO E PROPOSTAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Ambiental da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial à obtenção do título de
bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Tatiane Pereira Santos Assis.

UBERLÂNDIA

2025

GABRIEL LUIZ SILVA GOLD

Análise do Processo Erosivo na Fazenda do Buriti em Uberlândia-MG: Diagnóstico e Propostas para Recuperação Ambiental.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Tatiane Pereira Santos Assis

Uberlândia, 28 de setembro de 2025.

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Dr^a. Tatiane Pereira Santos Assis (Orientadora)

Prof. Msc. Luciano Marajó de Carvalho Neto (Membro)

Mestrando Marcelo Alves Dariva (Membro)

AGRADECIMENTOS

A Deus, porque por Ele e para Ele são todas as coisas.

A minha orientadora, Tatiane, pela paciência, dedicação e orientação, contribuindo de forma decisiva para o meu desenvolvimento acadêmico.

Aos meus pais pelo incentivo e determinação presentes em toda a minha vida e aos meus irmãos pelo companheirismo e ensinamentos.

Análise do Processo Erosivo na Fazenda do Buriti em Uberlândia-MG: Diagnóstico e Propostas para Recuperação Ambiental.

Gabriel Luiz Sllva Gold; Tatiane Pereira Santos Assis.

Resumo

Este trabalho apresenta uma análise do processo erosivo na Fazenda do Buriti, localizada na zona rural de Uberlândia-MG, e propõe um conjunto de medidas para a recuperação de uma voçoroca. O estudo identificou que a origem da erosão está associada à concentração de águas pluviais provenientes do sistema viário (Anel Viário Ayrton Senna e BR-050), que alterou o escoamento natural da água e direcionou grandes volumes para um único ponto na propriedade. A partir de imagens de satélite, drones e análises de campo, foi possível acompanhar a evolução da voçoroca de 2016 a 2025, constatando-se um crescimento contínuo. O estudo propõe a aplicação de um Projeto de Recuperação de Área Degradada (PRAD) com técnicas como a construção de paliçadas de bambu, semeadura de gramíneas e leguminosas, implantação de curvas de nível e manutenção de estruturas de drenagem existentes. Conclui-se que a recuperação da área exige intervenções integradas, tanto no local da erosão quanto a montante, visando restabelecer a estabilidade do solo, a cobertura vegetal e a funcionalidade hidrológica da paisagem.

Palavras-chave

Colapso subterrâneo; Origem da erosão; PRAD; Recuperação; Voçoroca.

Analysis of the Erosive Process at Fazenda do Buriti in Uberlândia-MG: Diagnosis and Proposals for Environmental Recovery

Gabriel Luiz Silva Gold; Tatiane Pereira Santos Assis

Abstract

This study presents an analysis of the erosive process at Fazenda do Buriti, located in the rural area of Uberlândia, Minas Gerais, Brazil, and proposes a set of measures for the recovery of a gully erosion feature. The study identified that the origin of the erosion is associated with the concentration of stormwater runoff from the road system (Ayrton Senna Ring Road and BR-050 highway), which altered the natural water flow and directed large volumes to a single point within the property. Based on satellite imagery, drone surveys, and field analyses, it was possible to monitor the evolution of the gully from 2016 to 2025, revealing continuous expansion. The study proposes the implementation of a Degraded Area Recovery Project (PRAD), using techniques such as the construction of bamboo check dams, seeding of grasses and legumes, installation of contour lines, and maintenance of existing drainage structures. It is concluded that the recovery of the area requires integrated interventions both at the erosion site and upstream, aiming to restore soil stability, vegetation cover, and the hydrological functionality of the landscape.

Keywords

Subsurface collapse; Erosion origin; PRAD; Rehabilitation; Gully.

Lista de Ilustrações

Figura 1 - Localização da Fazenda do Buriti.....	12
Figura 2 - Bioma no qual a Fazenda Buriti está inserida.....	13
Figura 3 - Temperaturas e precipitações médias em Uberlândia.....	14
Figura 4 - Temperaturas e precipitações médias em Uberlândia.....	14
Figura 5 - Classificação da geologia da Fazenda do Buriti.....	15
Figura 6 - Tipo de solo da Fazenda do Buriti.....	16
Figura 7 - Hidrografia da Fazenda do Buriti.....	17
Figura 8 - Relevo e curvas de nível da Fazenda do Buriti.....	18
Figura 9 - Declividade da Fazenda do Buriti.....	19
Figura 10 - Relevo e curvas de nível da Fazenda do Buriti.....	20
Figura 11 - Tendência de expansão urbana.....	22
Figura 12 - Perímetro urbano em estudo.....	22
Figura 13 - Imagem do ano de 2016.....	22
Figura 14 - Início da voçoroca em 2017.....	23
Figura 15 - Cessamento da voçoroca inicial e continuidade pela lateral esquerda..	23
Figura 16 - Perfil do solo exposto pela voçoroca.....	24
Figura 17 - Detalhe das raízes da pastagem no perfil do solo.....	25
Figura 18 - Imagem de satélite mostrando início de erosão na Fazenda do Buriti..	26
Figura 19 - Zoom da área de início da erosão.....	27
Figura 20 - Linhas naturais de drenagem.....	28
Figura 21 - Detalhe das linhas de drenagem natural dentro da Fazenda do Buriti..	29
Figura 22 - Linhas de cumeada e área de concentração de água de chuva.....	30
Figura 23 - Detalhe da dinâmica da água de chuva.....	30
Figura 24 - Direcionamento da água da chuva dentro da área da Fazenda.....	31
Figura 25 - Voçoroca no alinhamento da linha 1ª composta de parede úmida à direita e seca à esquerda.....	32
Figura 26 - Localização da Fazenda do Buriti e dos barramentos, frente às rodovias.....	34
Figura 27 - Projeto Planialtimétrico do trecho no entorno da Fazenda Buriti.....	35
Figura 28 - Vista aérea da área ocupada pela voçoroca em 2020.....	37
Figura 29 - Vista aérea da área ocupada pela voçoroca em 2021.....	37
Figura 30 - Imagem de drone da área ocupada pela voçoroca em 2020.....	37

Figura 31 - Imagem de drone da área ocupada pela voçoroca em 2021.....	38
Figura 32 - Área de progressão da voçoroca entre 03/03/2020 e 30/03/2021.....	38
Figura 33 - Vista da área com maior grau de progressão da voçoroca.....	39
Figura 34 - Imagem de satélite da área ocupada pela voçoroca em 2025.....	40
Figura 35 - Aerofotografia da voçoroca.....	41
Figura 36 - Assoreamento da nascente.....	42
Figura 37 - Vegetação morta às margens do Córrego Buriti.....	42
Figura 38 - Aerofotografia do barramento.....	43
Figura 39 - Imagens do Projeto do Contorno Norte.....	44
Figura 40 - Imagens do Projeto do Contorno Norte.....	44
Figura 41 - Imagens do Projeto do Contorno Sul.....	44
Figura 42 - Imagens do Projeto do Contorno Sul.....	44
Figura 43 - Projeto do Contorno Norte.....	45
Figura 44 - Projeto do Contorno Sul.....	45
Figura 45 - Fotos atuais da área.....	45
Figura 46 - Fotos atuais da área.....	45
Figura 47 - Imagens de satélite da área.....	51
Figura 48 - Fotos atuais da área.....	51
Figura 49 - Fotografia da última barragem.....	51
Figura 50 - Fotografia da penúltima barragens.....	51
Figura 51 - Modelo da paliçada a ser instalada.....	54
Figura 52 - Curvas de nível.....	55

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Cenários ambientais.....	46
Tabela 2 - Anexo I: Matriz de Decisão do Termo de Referência.....	48
Tabela 3 - Total de sementes necessárias para a recuperação das áreas degradadas.....	53
Tabela 4 - Cronograma de execução para recuperação da erosão.....	56

SUMÁRIO

1. Introdução.....	10
2. Objetivo.....	11
3. Localização.....	11
4. Caracterização ambiental	13
4.1. Caracterização abiótica	13
4.1.1. Bioma	13
4.1.2. Clima	13
4.1.3. Geologia	14
4.1.4. Pedologia.....	15
4.1.5. Hidrografia	16
4.1.6. Altimetria.....	17
4.2. Caracterização biótica	19
4.2.1. Fauna	19
4.2.2. Flora	20
5. Origem da degradação (Visão Macro)	21
6. Origem da degradação (Visão Micro).....	22
7. Causa da erosão.....	25
8. Comparativo de evolução da voçoroca.....	36
9. Degradação da nascente e barramentos	41
9.1. Nascente.....	41
9.2. Barramento	42
10. Medidas de recuperação e compensatórias implementadas	43
11. Projeto de recuperação de área degradada - PRAD.....	45
10.1. Classificação dos cenários ambientais	46
10.2. Conceitos e técnicas de controle e recuperação	48
10.3. Semeadura de gramíneas e leguminosas	49
10.5. Instalação de curvas de nível, manutenção e melhoria nos bolsões	50
12. Execução do projeto	52
12.1. Semeadura de gramíneas e leguminosas	52
12.2. Paliçadas	53
12.3. Curvas de nível, barragens e bolsão de infiltração	54
12.4. Custos estimados	55
13. Cronograma de execução	56
14. Metodologia de avaliação dos resultados	56
15. Conclusão	57
16. Referências bibliográficas.....	59

1. Introdução

O processo de degradação do solo pela erosão hídrica representa um dos mais sérios desafios ambientais da atualidade, culminando em sua forma mais severa na formação de voçorocas. O termo, originário da língua tupi-guarani, significa "terra rasgada" ou "grande buraco", descrevendo com precisão as extensas escavações geradas pela força das águas pluviais. Segundo Gomes (2009), as voçorocas caracterizam-se como uma erosão tão acentuada que atinge e expõe o lençol freático, surgindo frequentemente em áreas de relevo inclinado e solo vulnerável, onde o volume de chuva excede a capacidade de infiltração do terreno.

A origem das voçorocas, embora um fenômeno natural, é intensificada drasticamente pela ação antrópica. Conforme destacam Bertoni e Lombardi Neto (2012), a remoção da cobertura vegetal nativa e o manejo inadequado do solo são os principais fatores da erosão acelerada. Essa visão é semelhante a de Guerra (2023), que aponta a particular vulnerabilidade de áreas de clima tropical, onde os elevados índices pluviométricos, muitas vezes concentrados em curtos períodos, atuam de forma agressiva sobre os solos que foram desprotegidos pelo desmatamento para fins agrícolas ou de exploração madeireira.

O mecanismo da erosão pluvial, conforme descrito por Pereira (2020), ocorre em três etapas sequenciais: a desagregação das partículas do solo pelo impacto das gotas de chuva; o transporte dessas partículas pelo escoamento superficial; e, por fim, a deposição do material em áreas mais baixas do relevo, como cursos d'água e reservatórios. Este processo contínuo desencadeia uma série de danos ambientais, sociais e econômicos.

As consequências da formação de voçorocas são severas, resultando em áreas de baixa fertilidade, endurecimento superficial do solo e redução drástica da infiltração de água. Além dos danos diretos à propriedade e à infraestrutura, a degradação se estende à contaminação do lençol freático e ao assoreamento de rios e represas, comprometendo a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos (PEREIRA, 2020).

Diante deste cenário, a recuperação da área degradada demanda a aplicação de estratégias integradas. Estas envolvem, inicialmente, medidas de estabilização física e controle do fluxo hídrico, seguidas pela revegetação com espécies adaptadas

e, por fim, a facilitação da sucessão ecológica natural (RODRIGUES et al., 2023; ZOAL, 2020). Ademais, destaca-se a influência dos sistemas de drenagem associados às infraestruturas viárias, como rodovias e loteamentos, que, quando inadequadamente projetados ou mantidos, contribuem de forma significativa para a intensificação dos processos erosivos.

O Projeto de Recuperação de Área Degradada - PRAD prevê medidas de controle e recuperação de áreas degradadas, com ênfase em um estudo de caso realizado na Fazenda do Buriti, localizada no município de Uberlândia - MG.

É importante ressaltar que as medidas e as ações apresentadas neste estudo são fundamentais para reconstrução do cenário anterior à degradação, estabelecendo topografia e paisagem permanente e sem qualquer anomalia na estabilização que possa comprometer o meio ambiente, sejam as questões físicas, sejam antrópicas, sejam socioeconômicas locais e regionais.

Sendo assim, o planejamento das ações descritas neste projeto, bem como a execução delas, visou a melhor forma de manejo da sucessão vegetal com a finalidade de recuperar as degradações causadas pelas intempéries anteriores.

2. Objetivo

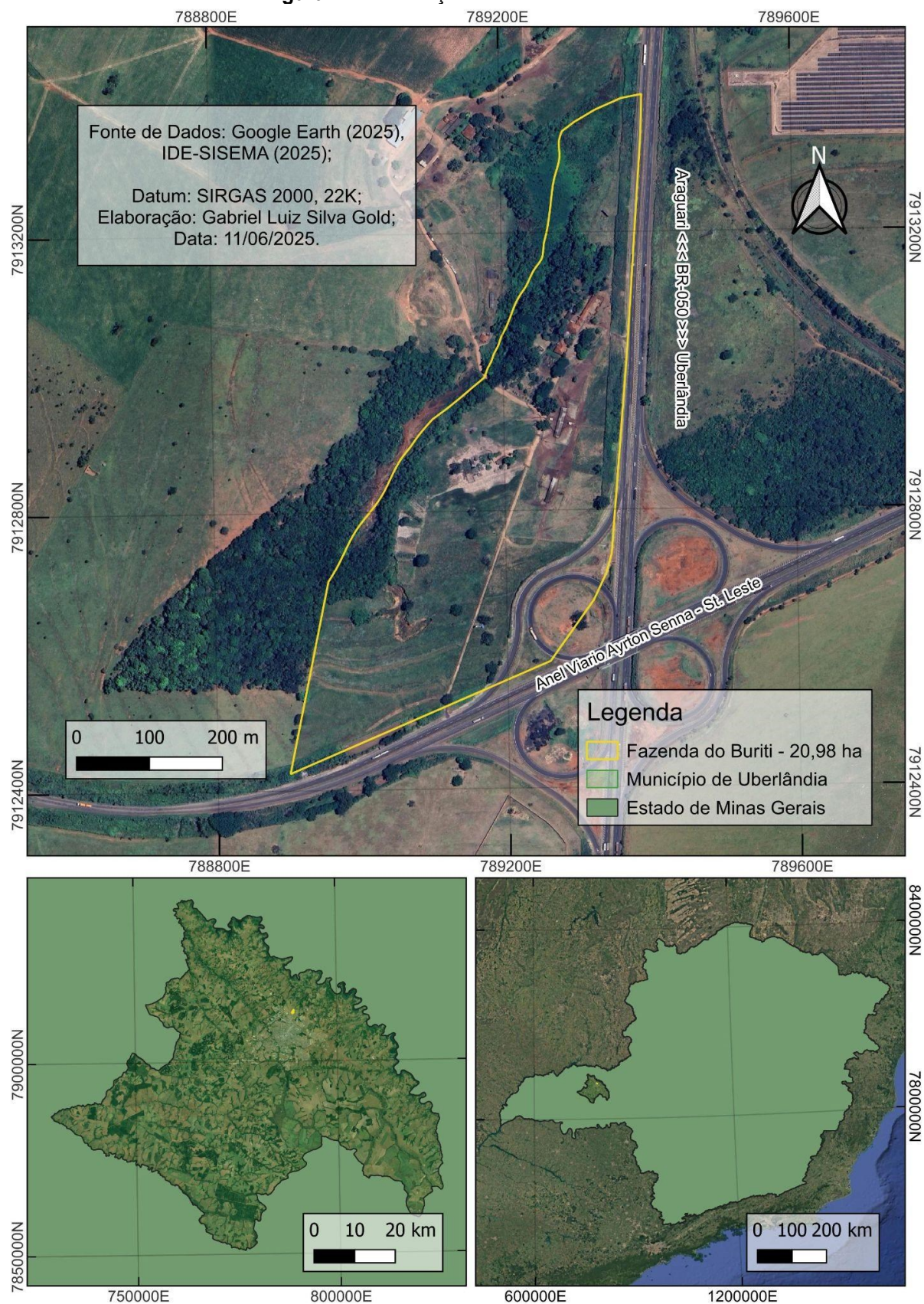
O presente estudo visou apresentar um conjunto de ações a serem desenvolvidas com a finalidade de uma recuperação ambiental da área de erosão na Fazenda do Buriti, em Uberlândia-MG, cujas características originais foram alteradas na extensão da propriedade.

Este documento está em consonância com a Instrução Normativa IBAMA nº 14, de 1º de julho de 2024, que estabelece procedimentos para elaboração, apresentação, execução e monitoramento de Projeto de Recuperação de Área Degradada pelo administrado, com vistas ao cumprimento da legislação ambiental em todos os biomas e suas respectivas fitofisionomias.

3. Localização

A Fazenda do Buriti situa-se no município de Uberlândia, no Triângulo Mineiro, porção oeste do Estado de Minas Gerais (**Figura 1**), apresentando uma área de 20,98 ha, com sede na coordenada Latitude 18° 51' 21,50" S e Longitude 48° 15' 19,90" O.

Figura 1 - Localização da Fazenda do Buriti.



Fonte: Google Earth e IDE-SISEMA, 2025.

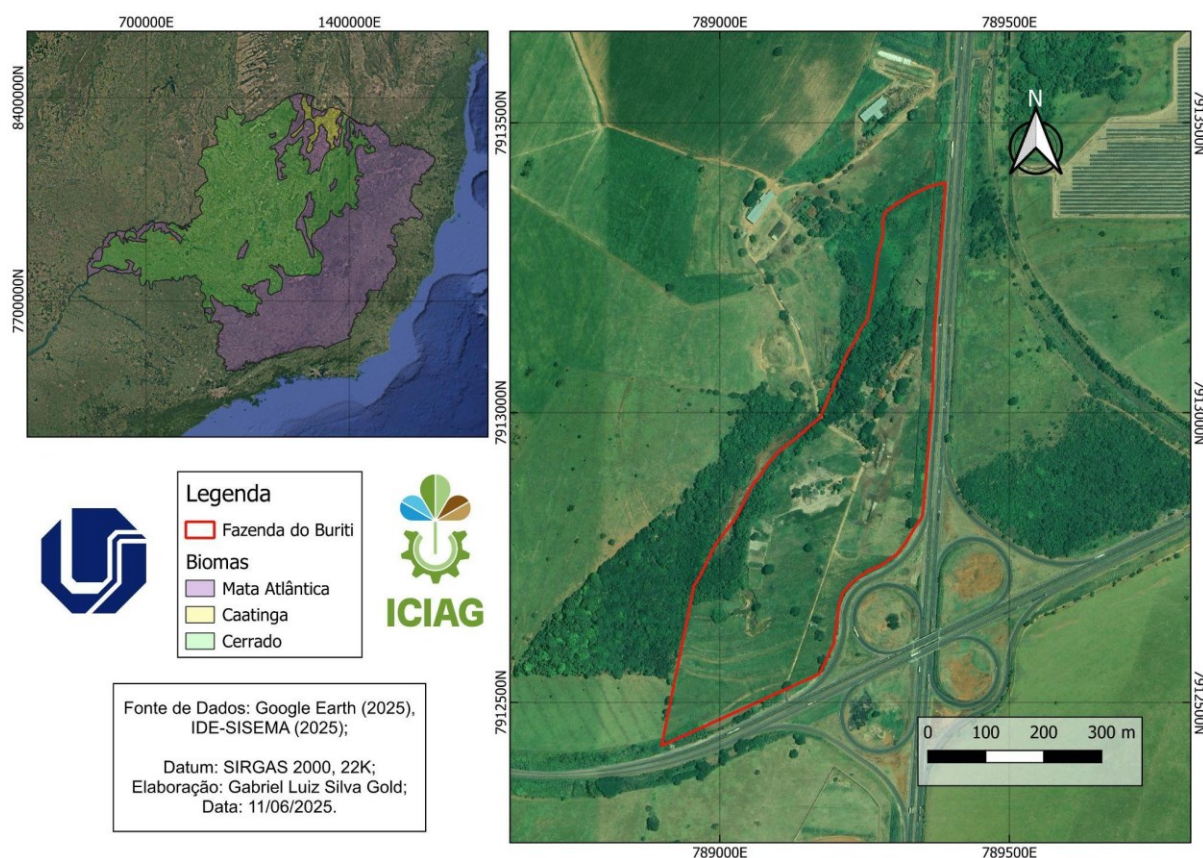
4. Caracterização ambiental

4.1. Caracterização abiótica

4.1.1. Bioma

Conforme análise realizada pelo Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA), do estado de Minas Gerais, a Fazenda Buriti está em sua totalidade no Bioma Cerrado (**Figura 2**).

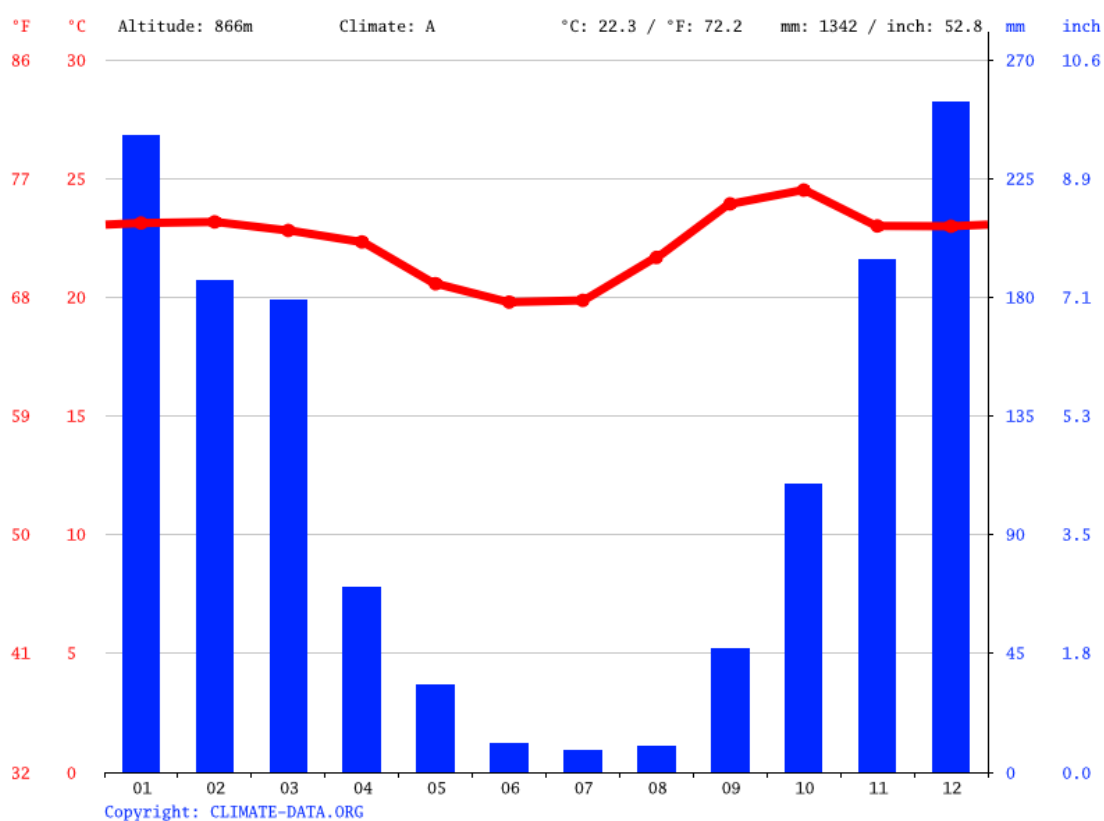
Figura 2 - Bioma no qual a Fazenda Buriti está inserida.



Fonte: IDE-SISEMA e QGIS, 2025.

4.1.2. Clima

Segundo a classificação Köppen e Geiger o clima é classificado como Aw. A temperatura média anual em Uberlândia é 22,3 °C. O nível de precipitação numa base anual é de 1342 mm (**Figura 3**), além disso, 8 mm refere-se à precipitação do mês de julho, que é o mês mais seco. A maior quantidade de precipitação ocorre durante o mês de dezembro, com uma quantidade média que atinge até 254 mm, de acordo com os dados meteorológicos do Climate Data (**Figura 4**).

Figura 3 - Temperaturas e precipitações médias em Uberlândia.

Fonte: Climatedata.org, 1991-2021.

Figura 4 - Temperaturas e precipitações médias em Uberlândia.

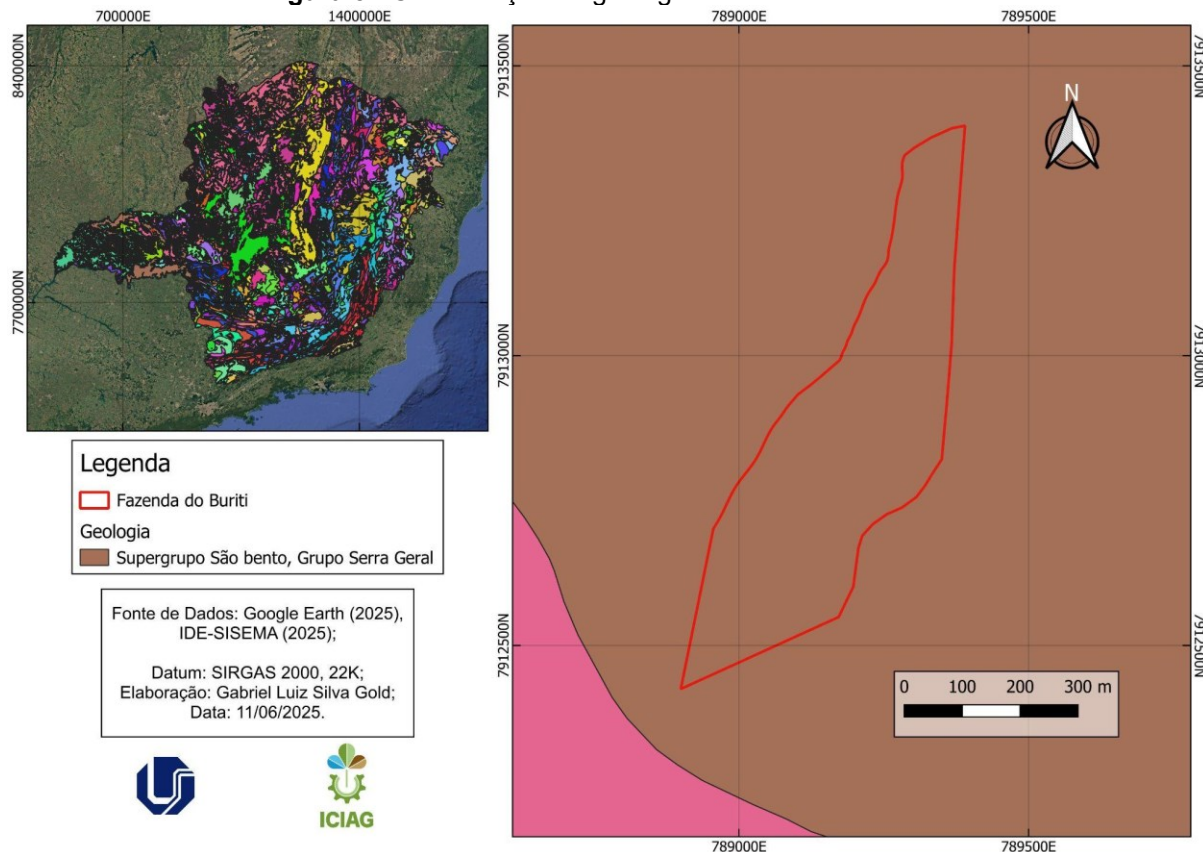
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	23.1	23.2	22.8	22.3	20.6	19.8	19.9	21.7	23.9	24.5	23	23
Temperatura mínima (°C)	19.7	19.6	19.4	18.3	15.9	14.7	14.6	16	18.5	19.9	19.5	19.7
Temperatura máxima (°C)	27.3	27.5	27.1	27	25.9	25.5	25.7	27.9	29.9	29.8	27.4	27.2
Chuva (mm)	241	186	179	70	33	11	8	10	47	109	194	254
Umidade(%)	78%	77%	79%	71%	64%	60%	54%	45%	46%	56%	74%	78%
Dias chuvosos (d)	16	14	15	8	4	2	1	1	5	10	15	17
Horas de sol (h)	8.9	9.2	8.5	9.0	8.9	9.1	9.5	10.1	10.2	10.1	8.8	8.7

Fonte: Climatedata.org, 1991-2021.

4.1.3. Geologia

A formação dos solos na região do Triângulo Mineiro, em Minas Gerais, é chamada de Bacia Sedimentar do Paraná, o qual apresenta arenitos intercalados, com derrames de rochas magmáticas, principalmente no Vale do Rio Paranaíba.

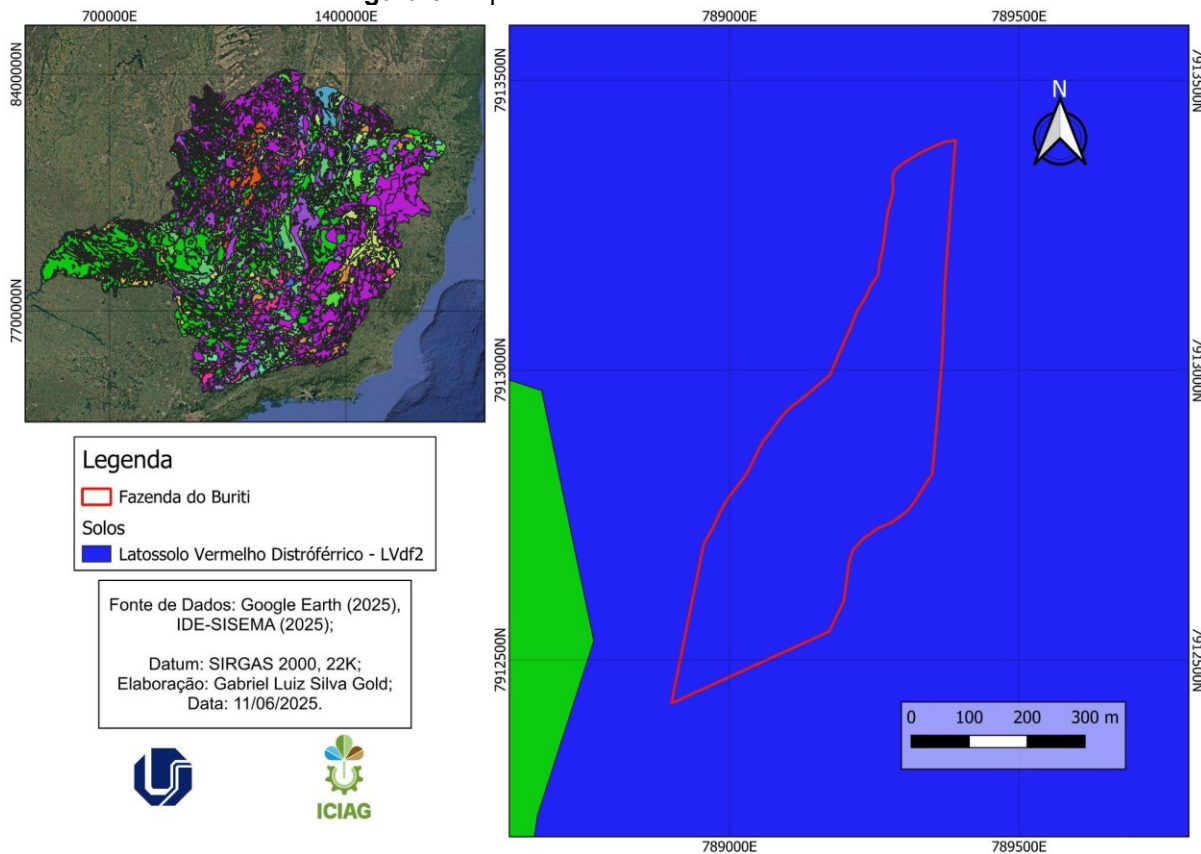
Na **Figura 5** observa-se que a Fazenda do Buriti está inserida no Supergrupo São Bento, Grupo Serra Geral, sendo basalto com intercalações de arenito e diques de diabásio, sigla (K1s).

Figura 5 - Classificação da geologia da Fazenda do Buriti.

Fonte: Mapa geológico do estado de Minas Gerais (IDE-SISEMA) e QGIS, 2025.

4.1.4. Pedologia

Conforme apresentado no mapa de solos do Estado de Minas Gerais (**Figura 6**), a Fazenda do Buriti, situada na zona rural do município de Uberlândia/MG, está inserida predominantemente em uma área com ocorrência de Latossolo Vermelho Distroférrico. Este tipo de solo é típico da região do Cerrado e de suas diversas fitofisionomias, sendo reconhecido por sua coloração vermelha intensa, decorrente da elevada concentração de óxidos de ferro, além de apresentar elevado grau de intemperismo e maturidade pedogenética.

Figura 6 - Tipo de solo da Fazenda do Buriti.

Fonte: Mapa de solo do estado de Minas Gerais (IDE-SISEMA) e QGIS, 2025.

Destaca-se que, embora possua uma camada superficial relativamente fértil e rica em nutrientes, o Latossolo Vermelho Distróférrico apresenta uma camada subsuperficial mais compactada e com menor fertilidade. Sua formação em clima tropical, marcado por altas temperaturas e estações chuvosas bem definidas, influencia diretamente suas características estruturais e químicas.

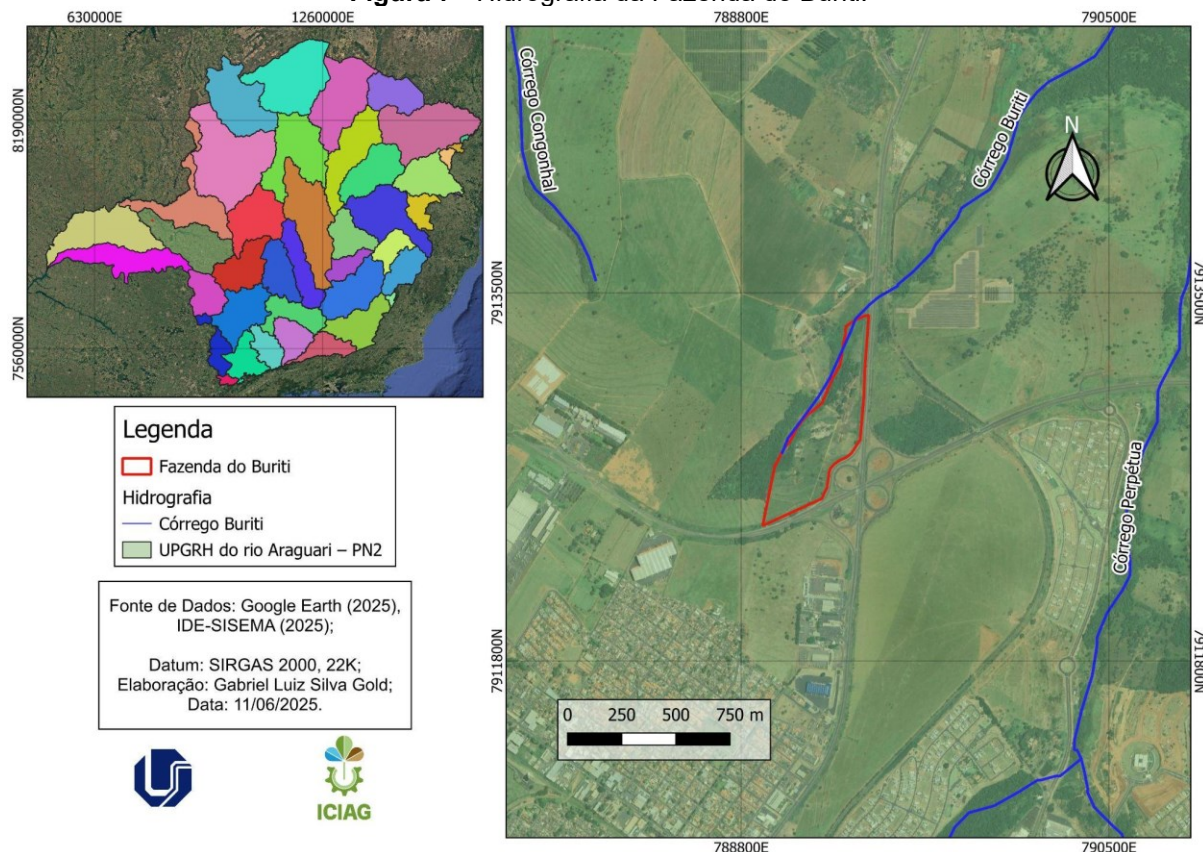
Outra particularidade relevante refere-se à sua baixa capacidade de retenção de água, o que o torna suscetível a períodos de déficit hídrico durante a estação seca e, por outro lado, a episódios de encharcamento temporário na estação chuvosa.

4.1.5. Hidrografia

A Fazenda do Buriti está inserida na Unidade de Planejamento de Gestão de Recursos Hídricos – UPGRH do Rio Araguari – PN2, na bacia Federal do Rio Paranaíba. A bacia do Rio Paranaíba é uma das principais bacias hidrográficas do Brasil e é formada por diversos afluentes que se unem para constituir o rio Paranaíba, que por sua vez é um importante afluente do rio Paraná.

Na Fazenda do Buriti se encontra a nascente do córrego Buriti, como observado na **Figura 7**, o que contribui para moldar a paisagem da Fazenda do Buriti, influenciando na distribuição do solo, na disponibilidade hídrica e na vegetação local.

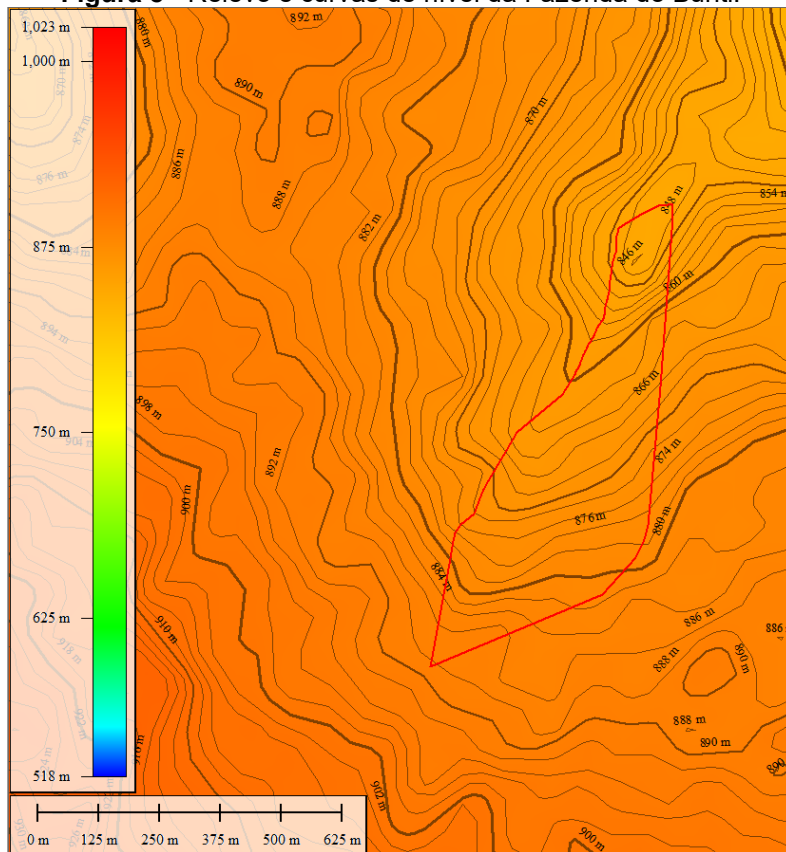
Figura 7 - Hidrografia da Fazenda do Buriti.



Fonte: Mapa de hidrografia do estado de Minas Gerais (IDE-SISEMA) e QGIS, 2025.

4.1.6. Altimetria

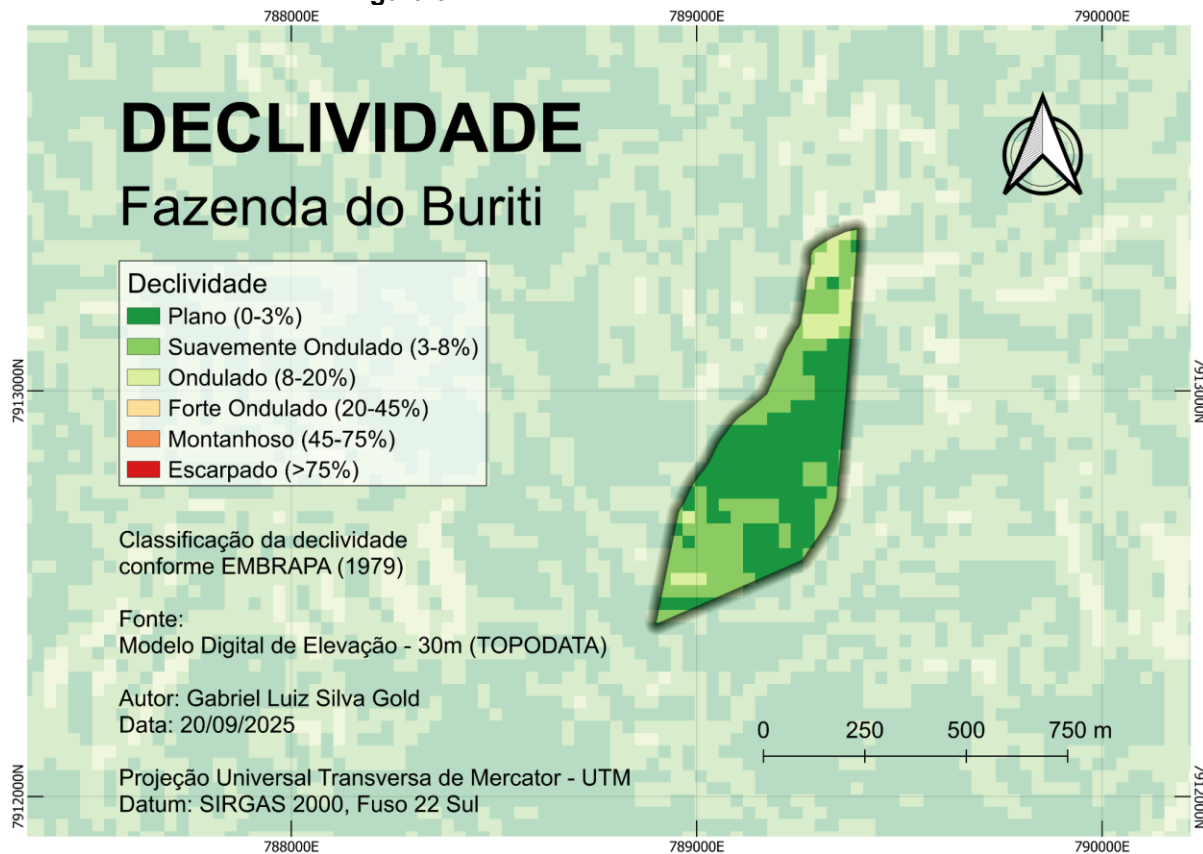
A variação de altitude na Fazenda do Buriti é de aproximadamente 868 m, sendo sua cota máxima de 888 m e a sua cota mínima de 848 m (**Figura 8**).

Figura 8 - Relevo e curvas de nível da Fazenda do Buriti.

Fonte: NASA DEM e Global Mapper, 2025.

Para compreender a dinâmica do terreno e a suscetibilidade à erosão na área de estudo, foi elaborado o mapa de declividade da Fazenda do Buriti **Figura 9**, utilizando como referência a classificação proposta pela Embrapa (1979).

A análise espacial da declividade é uma ferramenta de diagnóstico indispensável, pois o grau de inclinação do relevo governa diretamente a velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, seu potencial erosivo.

Figura 9 - Declividade da Fazenda do Buriti.

Fonte: Autoral, Topodata e QGIS, 2025.

4.2. Caracterização biótica

4.2.1. Fauna

O bioma Cerrado, característico da região, abriga uma fauna diversificada, resultado da variedade de fisionomias que o compõem, como: cerradão, campo sujo, campo cerrado, cerrado stricto sensu, campo limpo, veredas, matas ciliares e florestas estacionais.

Apesar dessa diversidade, é importante destacar que, segundo a plataforma online da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema), o Triângulo Mineiro é classificado como uma região de baixa vulnerabilidade para o componente fauna.

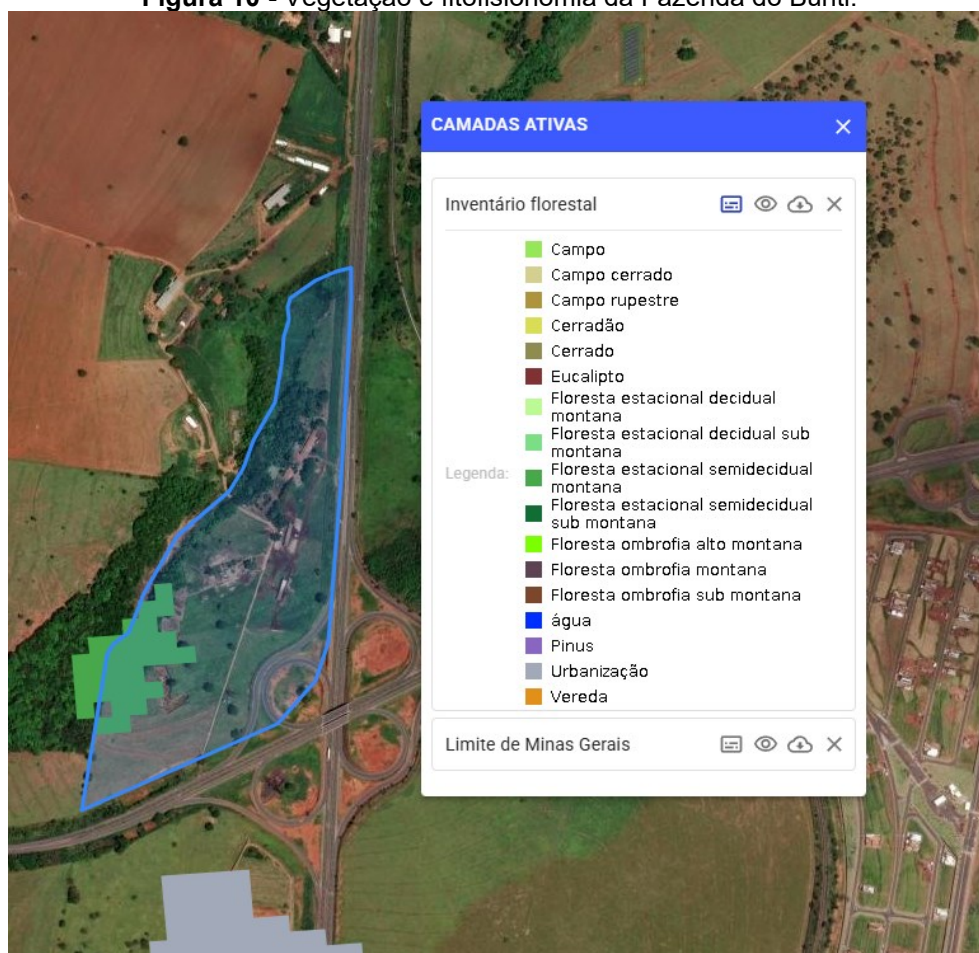
De acordo com a Fundação Biodiversitas (1998), embora existam poucas informações sobre o tamanho das populações e a dinâmica das espécies que habitam o Cerrado, não há dúvida de que a riqueza de espécies e o alto grau de endemismo são características marcantes da fauna desse bioma.

Algumas espécies são típicas do Cerrado e frequentemente observadas na região, como a jibóia (*Boa constrictor*), a cascavel (*Crotalus durissus*), diversas jararacas, o lagarto teiú (*Tupinambis merianae*), a seriema (*Cariama cristata*), o joão-de-barro (*Furnarius rufus*), o anu-preto (*Crotophaga ani*), a curicaca (*Theristicus caudatus*), o urubu-caçador (*Cathartes aura*), o urubu-rei (*Sarcoramphus papa*), além de araras, papagaios e gaviões. Também são comuns mamíferos como o tatu-peba (*Euphractus sexcinctus*), o tatu-galinha (*Dasypus novemcinctus*), o tatu-canastra (*Priodontes maximus*), o tatu-de-rabo-mole (*Cabassous sp.*) e o cateto (*Pecari tajacu*).

4.2.2. Flora

A Fazenda do Buriti apresenta uma vegetação típica do Bioma Cerrado, o qual é caracterizado, pela fitofisionomia de Floresta Estacional Semidecidual Montana (Figura 10).

Figura 10 - Vegetação e fitofisionomia da Fazenda do Buriti.



Fonte: Mapa de Inventário Florestal do estado de Minas Gerais (IDE-SISEMA), 2025.

Consultando um estudo de composição florística e estrutura de uma floresta estacional semidecidual montana em Viçosa, MG, verificou-se que as espécies típicas de floresta estacional semidecidual montana são: *Mabea fistulifera*, *Xylopia sericea*, *Piptadenia gonoacantha*, *Xylopia brasiliensis* e *Lacistema pubescens*.

5. Origem da degradação (Visão Macro)

A Revolução Industrial, juntamente, com o Período Neolítico permitiu o desenvolvimento tecnológico e a expansão populacional, consequentemente, aumentou-se os casos de contaminação, que é a presença de substâncias ou materiais em quantidades superiores às de ocorrência natural e que causam danos aos humanos, e também os casos de poluição, que é a presença de substâncias ou materiais em quantidades superiores às de ocorrência natural e que causam alterações ecológicas. Ambas definições são causadas, na maioria das vezes, por ações antrópicas, ou seja, humanas, e podem levar à degradação ambiental. De acordo com a literatura de Guerra e Guerra (1997).

O processo de ocupação urbana de Uberlândia vem passando por uma significativa evolução, apresentando fases diferenciadas de crescimento urbano, influenciado por fatores relevantes da história. Como fase importante do crescimento urbano, vale ressaltar os avanços da indústria, com os maiores aumentos na gestão do prefeito Odelmo Leão, sendo que de 2005 a 2012 foi de 241% e de 2017 a 2021 o crescimento alcançou 66%, conforme dados do IBGE e Prefeitura de Uberlândia.

“O prefeito Odelmo Leão destaca a importância das políticas públicas a longo prazo, que focam em garantir e ampliar a oferta de serviços prioritários à população, além de potencializar as vantagens naturais da cidade, como a localização geográfica privilegiada, que facilita as condições de logística, e disponibilidade de água de qualidade.” (Prefeitura de Uberlândia, 2024).

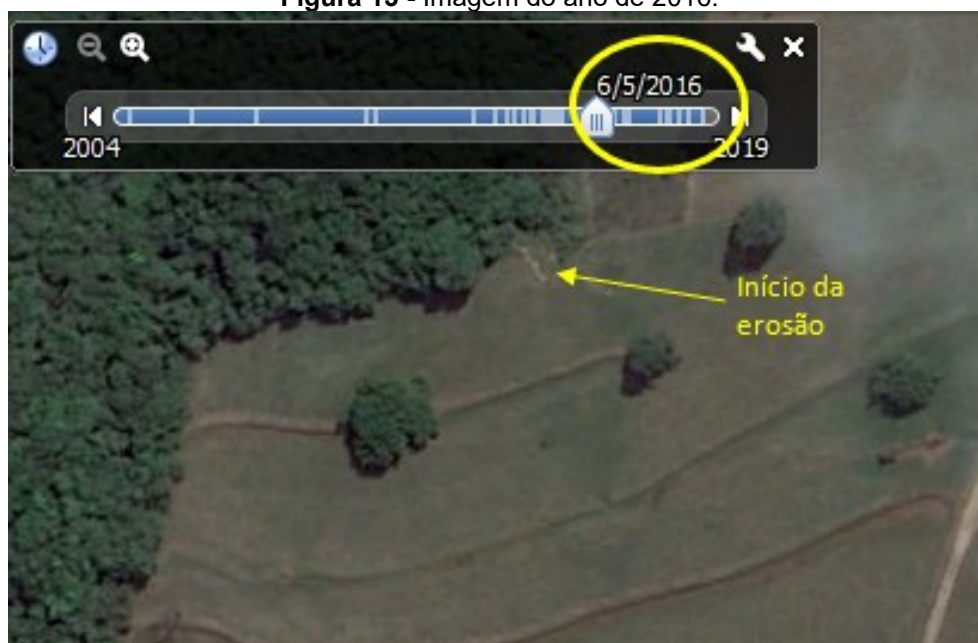
De acordo com a Revisão do Plano Diretor Municipal de Uberlândia (MG) PDM 2024-2034, o perímetro urbano da cidade está em estudo de expansão. A Fazenda do Buriti localiza-se dentro desse limite de expansão (**Figura 12**). O ponto em vermelho representa a localização da propriedade no mapa de tendência de expansão (**Figura 11**) e no mapa de perímetro urbano (**Figura 12**), salientando que o projeto está em fase de estudo pela Prefeitura Municipal de Uberlândia.

Figura 11 - Tendência de expansão urbana.	Figura 12 - Perímetro urbano em estudo.
	
Fonte: Revisão do Plano Diretor Municipal de Uberlândia (MG) PDM 2024-2034.	Fonte: Revisão do Plano Diretor Municipal de Uberlândia (MG) PDM 2024-2034.

6. Origem da degradação (Visão Micro)

A degradação do solo da Fazenda do Buriti teve seu início em meados de 2016 com uma erosão pontual, como observado na **Figura 13**.

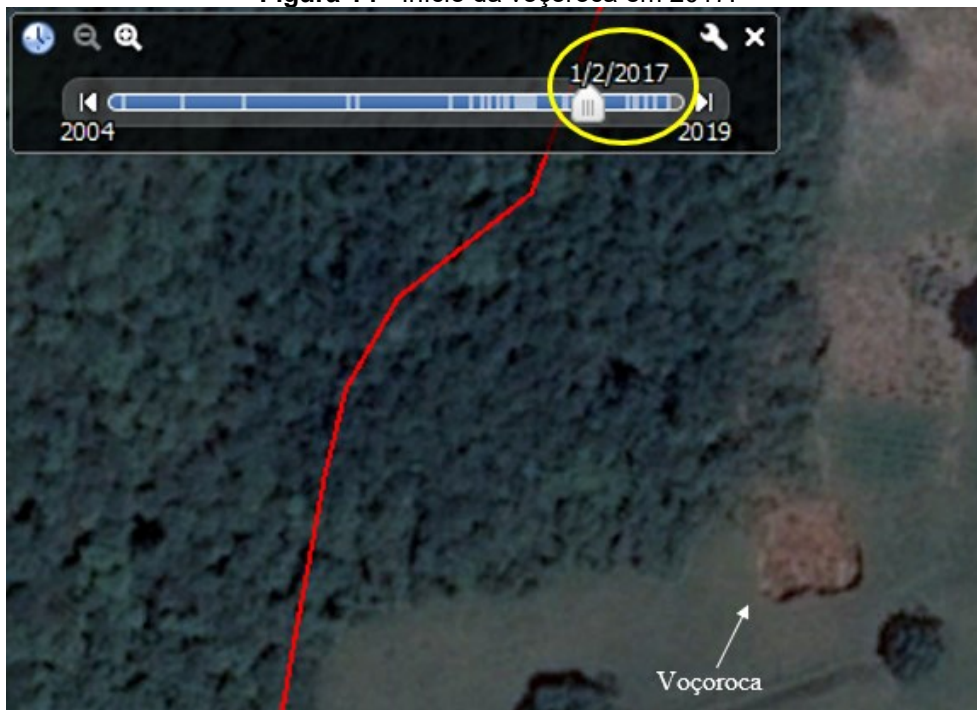
Figura 13 - Imagem do ano de 2016.



Fonte: Google Earth, 05/06/2016.

Posteriormente, foi contatado pelas imagens de satélite datadas em 02 de janeiro de 2017 que a degradação já se mostrava presente na área em forma de ravina (**Figura 14**), ou seja, em 6 meses houve uma evolução significativa de estágio de degradação.

Figura 14 - Início da voçoroca em 2017.



Fonte: Google Earth, 02/01/2017.

O início da voçoroca em 2017 cessou sua progressão linear em 2018, mas segue abrindo caminho pela lateral esquerda (posição do observador na parte baixa do terreno) se ramificando pela área (**Figura 15**) para cima e para direita.

Figura 15 - Cessamento da voçoroca inicial e continuidade pela lateral esquerda.



Fonte: Google Earth, 2018.

Essa característica deve-se muito provavelmente à maior permeabilidade do solo neste ponto e presença de material argiloso em profundidade. Ou ainda, a progressão rápida da erosão pela lateral, que pode ter freado o carreamento de umidade para o ponto inicial fazendo-o cessar. Isso explica também a falta de umidade excessiva no barranco.

A umidade excessiva em subsuperfície juntamente com o solapamento do solo indica que a erosão não é de origem laminar. Ou seja, ela não é superficial e sim subterrânea, causada por excesso de umidade em superfície de drenagem imperfeita em profundidade. A erosão hídrica superficial inicia quando o solo está descoberto (após desmatamento ou preparo do solo para implantação de culturas), o que não é o caso da Fazenda do Buriti. Pastagem em degradação pode promover erosão laminar por possuir pouca cobertura vegetal do solo pelo capim e raízes pouco presentes em profundidade. Pastagem bem manejada (não dá lugar à erosão) apresenta sistema radicular no perfil do solo, indicando que houve correção da acidez em subsuperfície.

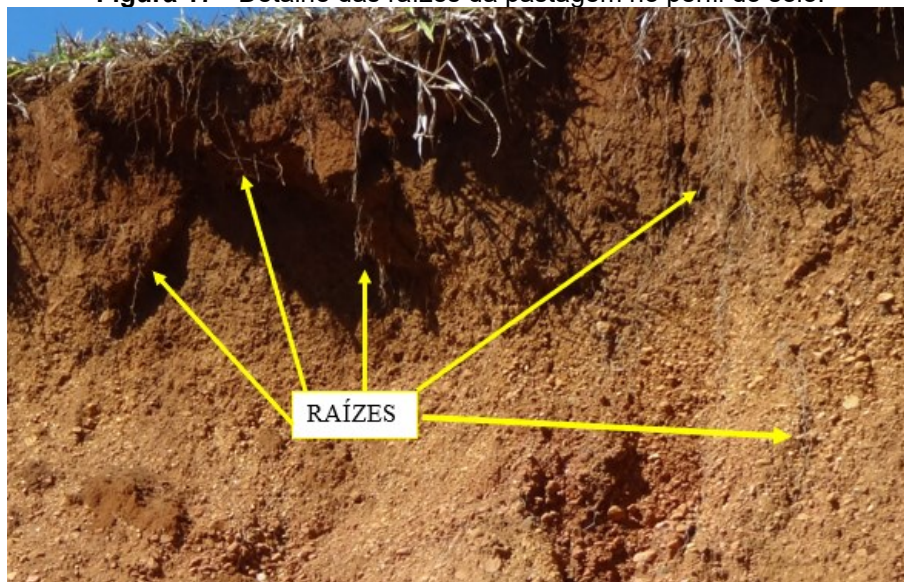
A cratera aberta pela voçoroca possibilitou verificar a “saúde” da pastagem na Fazenda do Buriti. É possível observar raízes ultrapassando os primeiros 20 cm (profundidade que geralmente é mais beneficiada pela correção da acidez do solo) indicando ausência de degradação com relação ao manejo da pastagem (Figura 16 e 17). A cobertura vegetal é uma prática, por si só, eficiente no controle da erosão.

Figura 16 - Perfil do solo exposto pela voçoroca.



Fonte: Composição do autor, 2019.

Figura 17 - Detalhe das raízes da pastagem no perfil do solo.



Fonte: Composição do autor, 2019.

A presença de grande quantidade de raízes finas em profundidade (**Figura 17**), evidencia que a compactação do solo é pouco existente. Sendo assim, não se trata de uma pastagem degradada ou em degradação. Na Fazenda do Buriti a pastagem funciona como um sistema conservacionista.

Segundo a EMBRAPA (2015), o manejo correto de pastagem contribui para minimizar o impacto da chuva diretamente no solo e facilita a infiltração de água no perfil.

7. Causa da erosão

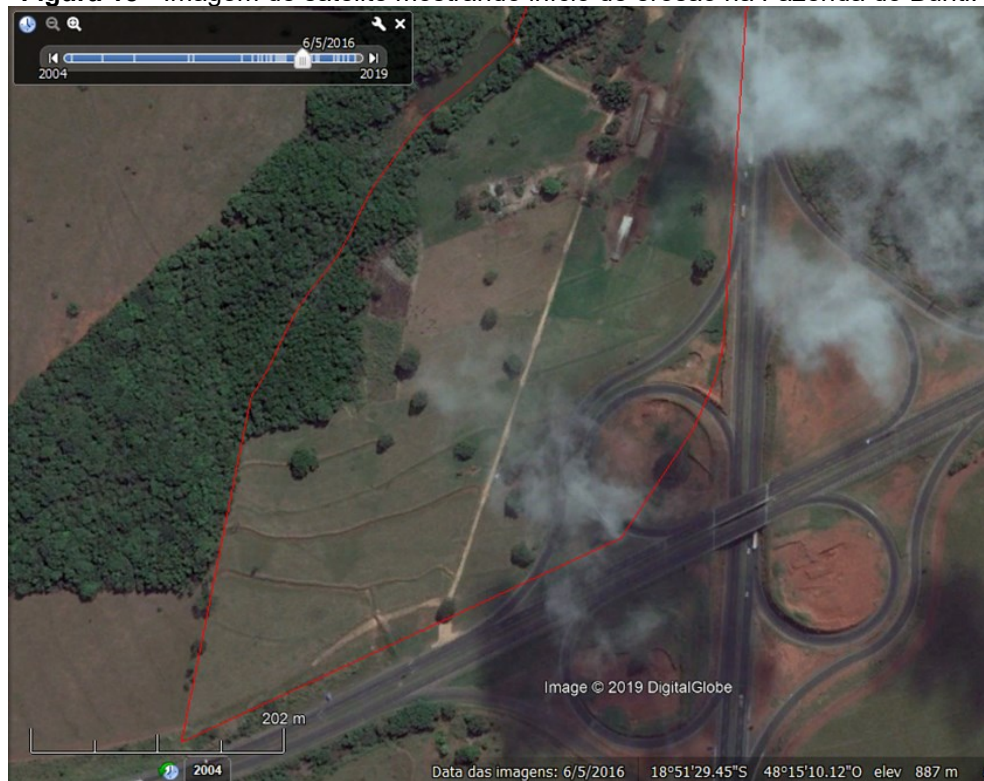
O impacto pode ser entendido como resultado de ações ligadas à atividade desenvolvida ou como consequência de uma situação de risco, manifestando-se em danos cuja dimensão e magnitude variam conforme o tipo de risco envolvido.

Ainda que, nem a intensidade dos impactos e nem a reação do ambiente sejam previsíveis de forma absoluta e, muitas vezes, não sejam quantificáveis, os indicadores de passivos ambientais atuam no sentido de se mensurar o efeito de um fato já ocorrido. Então, o indicador para o caso em questão, ligado ao processo, é a implantação do Anel Viário Ayrton Senna Setor Leste de Uberlândia-MG no limite com a Fazenda do Buriti, sendo a condução da água pluvial para dentro do imóvel que promoveu ao longo do tempo a erosão.

A Fazenda do Buriti desenvolveu atividade de pecuária pelos últimos 35 anos. De maneira geral, a pastagem recobriu o solo e propiciou a diminuição do escoamento

superficial da água de chuva que caiu sobre a área da propriedade durante a maior parte desses mais de 30 anos. No entanto, a partir de 05 de junho de 2016, é possível observar um início de erosão no terreno próximo à vegetação nativa (**Figura 18 e 19**).

Figura 18 - Imagem de satélite mostrando início de erosão na Fazenda do Buriti.



Fonte: Google Earth, 05/06/2016.

Figura 19 - Zoom da área de início da erosão.



Fonte: Google Earth, 05/06/2016.

É importante destacar, a partir da análise ampliada da **Figura 19**, que o processo erosivo teve início na base do talude, progredindo de baixo para cima. Não se tem, na imagem, vestígios de uma linha cortando o terreno que partam da rodovia em direção à área erodida. Nessa situação, a hipótese mais provável é o solapamento na base do terreno, provocado pelo excesso de umidade, o que teria desencadeado um colapso subterrâneo e posteriormente a formação de uma voçoroca.

Os processos erosivos se iniciam pela retirada da cobertura vegetal, seguido pela adução e concentração das águas pluviais na implantação de obras civis (saída de coletores de drenagem em estradas, arruamento urbano, barramento de águas pluviais pela construção de estradas forçando sua concentração nas linhas de

drenagem), estradas vicinais, ferrovias, trilhas de gado, uso e manejo inadequado das áreas agrícolas (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2019).

Analizando imagens de satélite com projeção das linhas de drenagem naturais no terreno, é possível observar o caminho natural da água durante uma chuva (**Figura 20**).

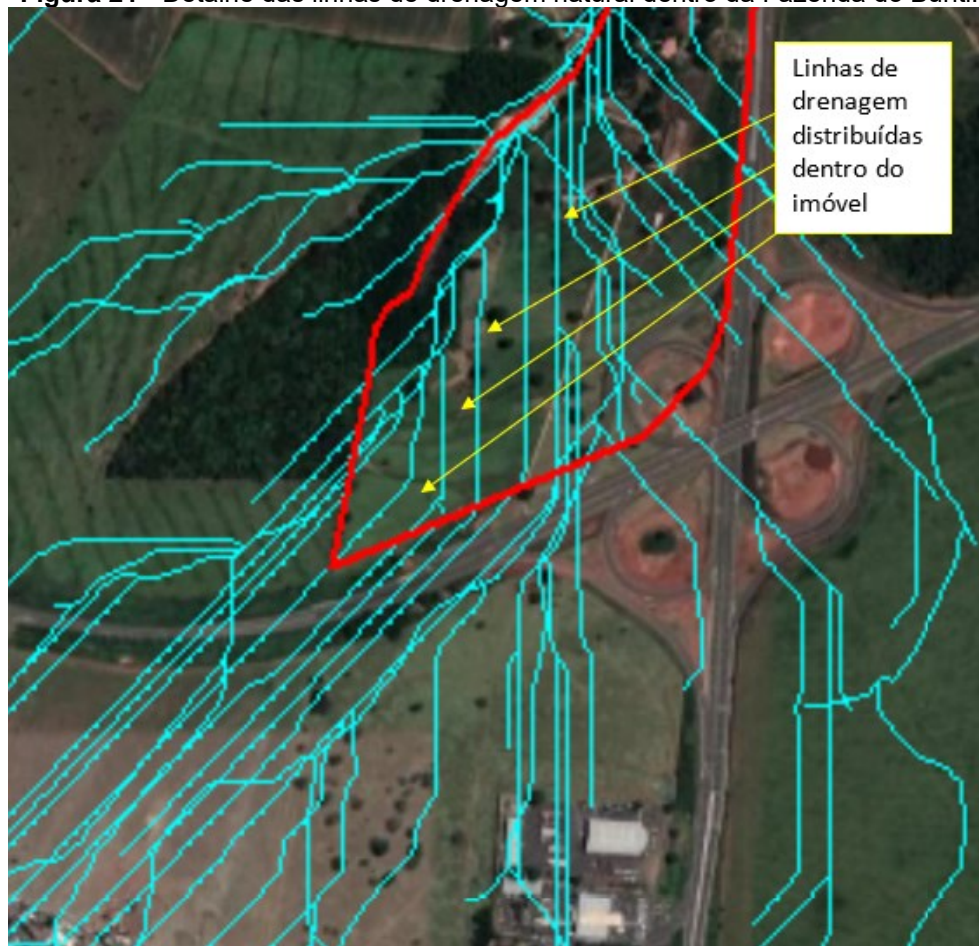
Figura 20 - Linhas naturais de drenagem.



Fonte: Global Mapper, 2025.

Observa-se que há um fluxo de linhas de drenagem para dentro da área da Fazenda do Buriti. No entanto, essas linhas se dispersam no perímetro do imóvel, fazendo a divisão natural da água de chuva no terreno (**Figura 21**). Isso, se não houvesse uma rodovia interceptando essas linhas de drenagem.

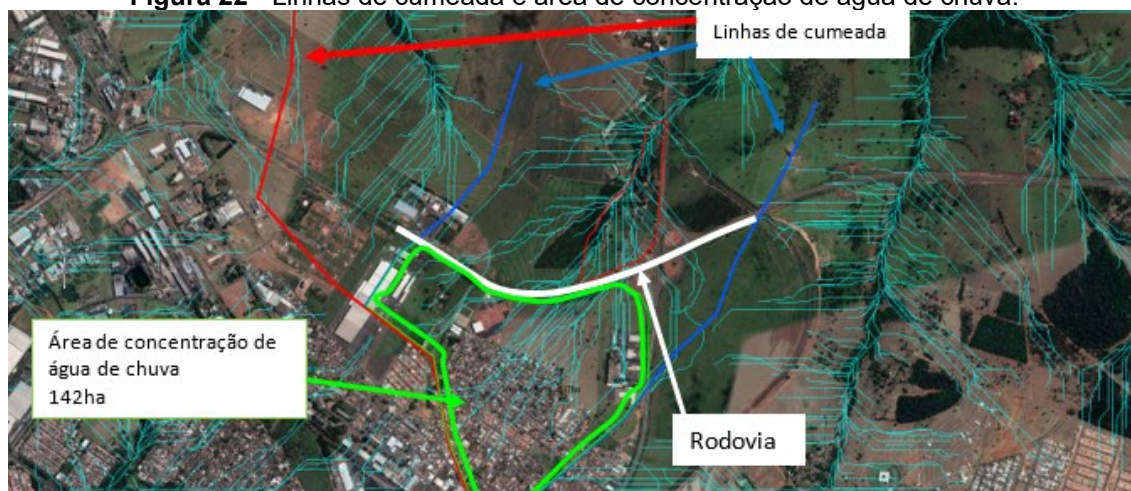
Figura 21 - Detalhe das linhas de drenagem natural dentro da Fazenda do Buriti.



Fonte: Global Mapper, 2025.

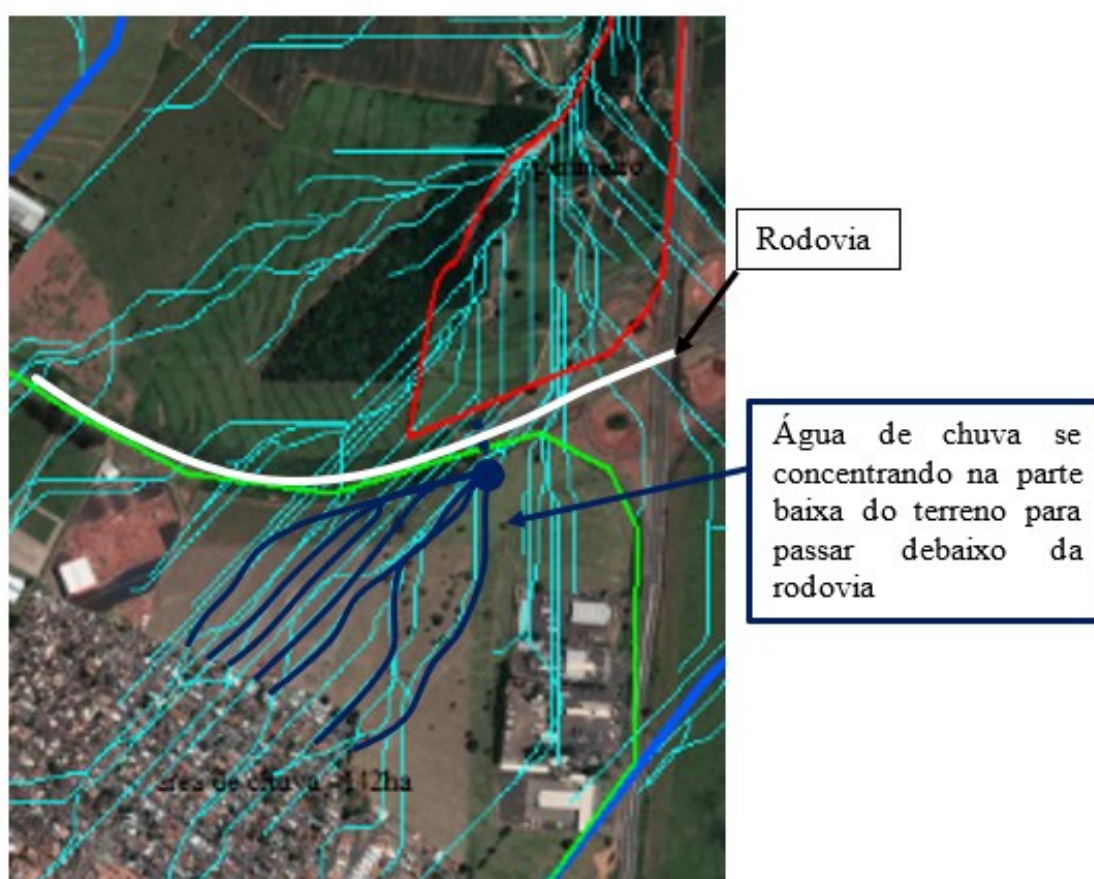
Projetando as linhas traçadas sobre a imagem é possível observar que a Rodovia do Anel Viário (linha branca na **Figura 22**), ao interromper as linhas de drenagem, força concentração de águas pluviais numa área de 142 ha (**Figura 22**). A rodovia passa a interceptar e funcionar como uma barreira para as linhas de drenagem, pois toda a água acumulada no espaço de 142 ha caminha para um só ponto na lateral da rodovia e depois de passar por baixo da via, toda essa água entra para dentro da Fazenda do Buriti também num só ponto (**Figura 23**). O que naturalmente seria distribuído sobre o terreno em várias linhas, passou a ser pontual em função do dreno sob a rodovia em direção à área da Fazenda do Buriti. A água da chuva, então, passa a ter escoamento concentrado num ponto dentro da propriedade.

Figura 22 - Linhas de cumeada e área de concentração de água de chuva.



Fonte: Global Mapper, 2025.

Figura 23 - Detalhe da dinâmica da água de chuva.

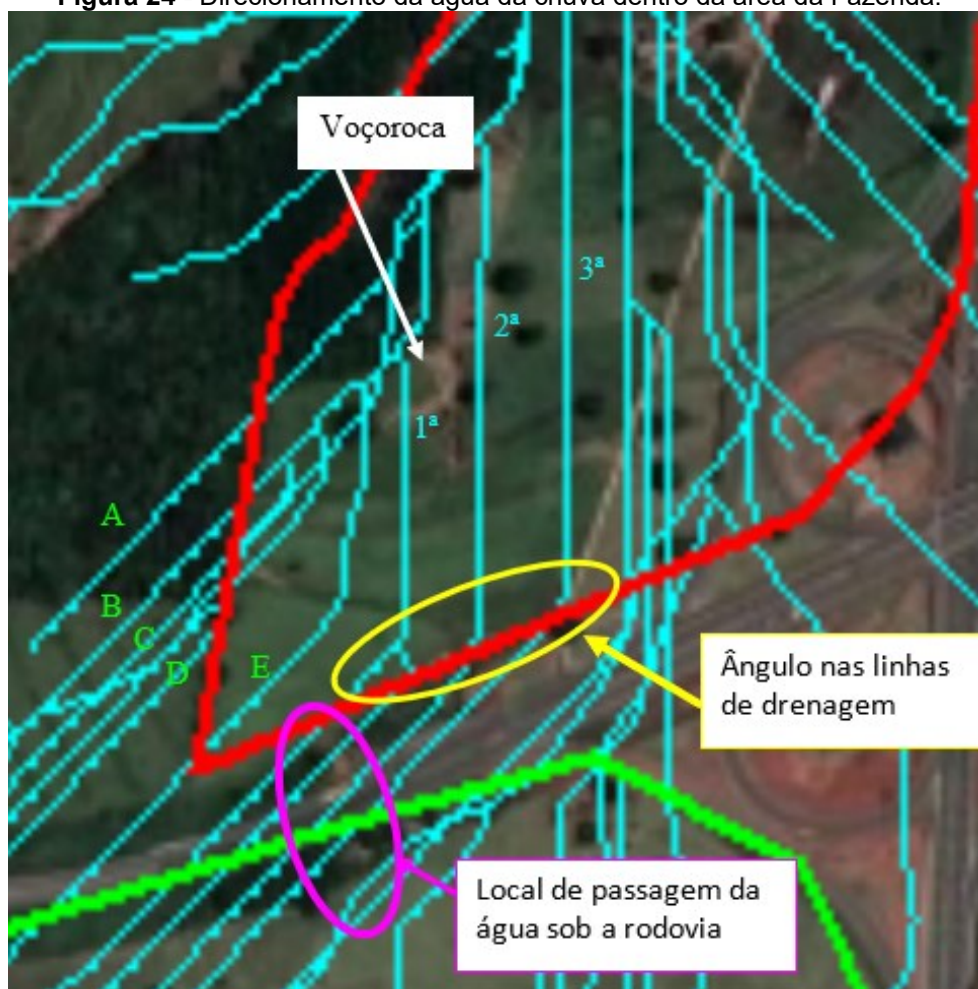


Fonte: Global Mapper, 2025.

As linhas de drenagem natural fazem uma angulação maior que 90°, dentro da Fazenda do Buriti, para depois seguir em linha reta até o vale do curso d'água. Esta angulação direciona a água diretamente para a linha da voçoroca (**Figura 24**). Portanto, considerando que toda a água que passa por baixo da rodovia se concentra num só ponto e dali, pela inclinação natural em nível do terreno, dissipa todo o volume

em apenas 3 linhas de drenagem concentrando fluxo de vazão na primeira linha, a erosão na área seria questão de tempo. Tempo de haver um encharcamento excessivo ao longo dos anos. Toda a água que naturalmente caminharia por todas as linhas de drenagem desde a linha intitulada de A, B, C, D, E, 1ª, 2ª, 3ª em diante, se não houvesse a rodovia, fica confinada para dissipação apenas a partir da linha 1ª em função do ponto de concentração da água depois de passar por baixo da rodovia pelo canal de passagem instalado.

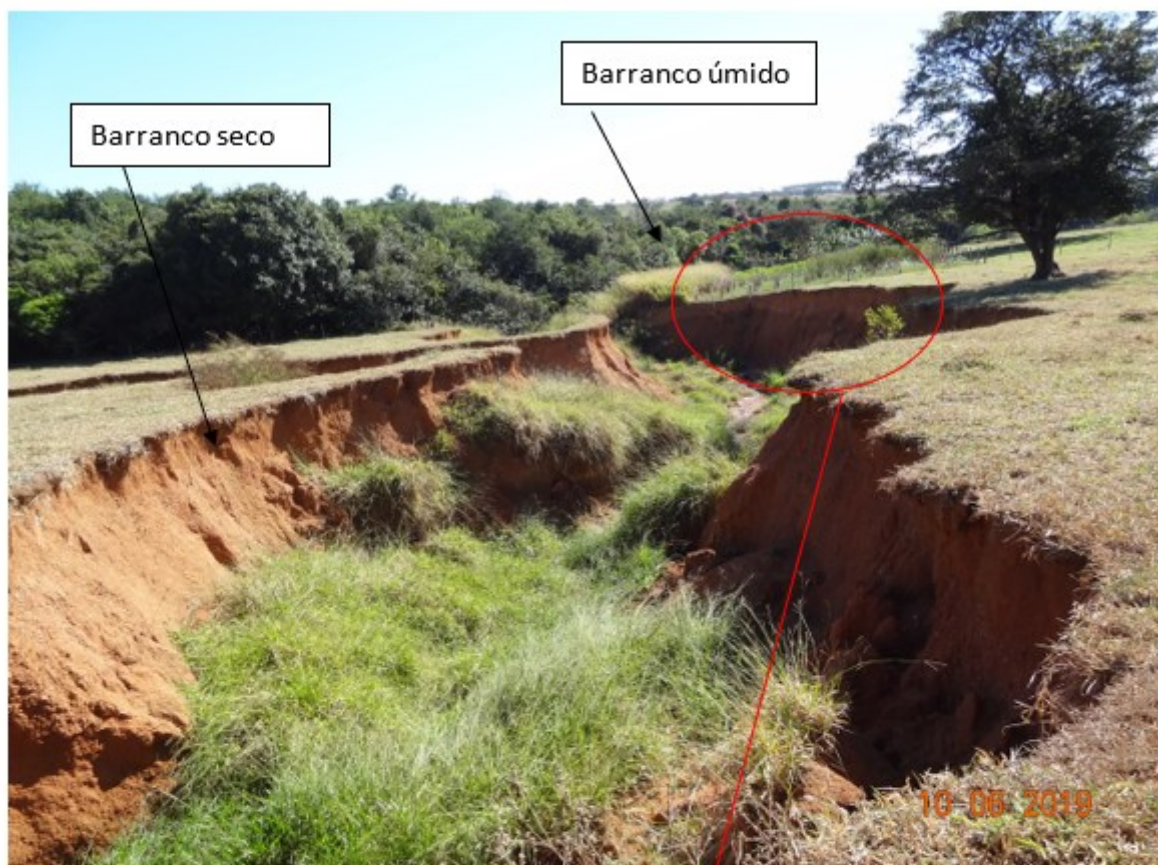
Figura 24 - Direcionamento da água da chuva dentro da área da Fazenda.



Fonte: Global Mapper, 2025.

A concentração de umidade na região das linhas de drenagem 1ª, 2ª e 3ª enumeradas na **Figura 24**, talvez explique o aspecto molhado em parte da parede da voçoroca (**Figura 25**) no sentido dessas 3 linhas citadas na **Figura 24**. Não foi encontrado nascente na base da voçoroca e toda a umidade advém de escoamento de algumas paredes que estão extremamente úmidas. Essas paredes úmidas estão à direita, na parte mais baixa do terreno, dentro da voçoroca, no alinhamento das linhas 1ª e 2ª.

Figura 25 - Voçoroca no alinhamento da linha 1ª composta de parede úmida à direita e seca à esquerda.



Fonte: Composição do autor, 2019.

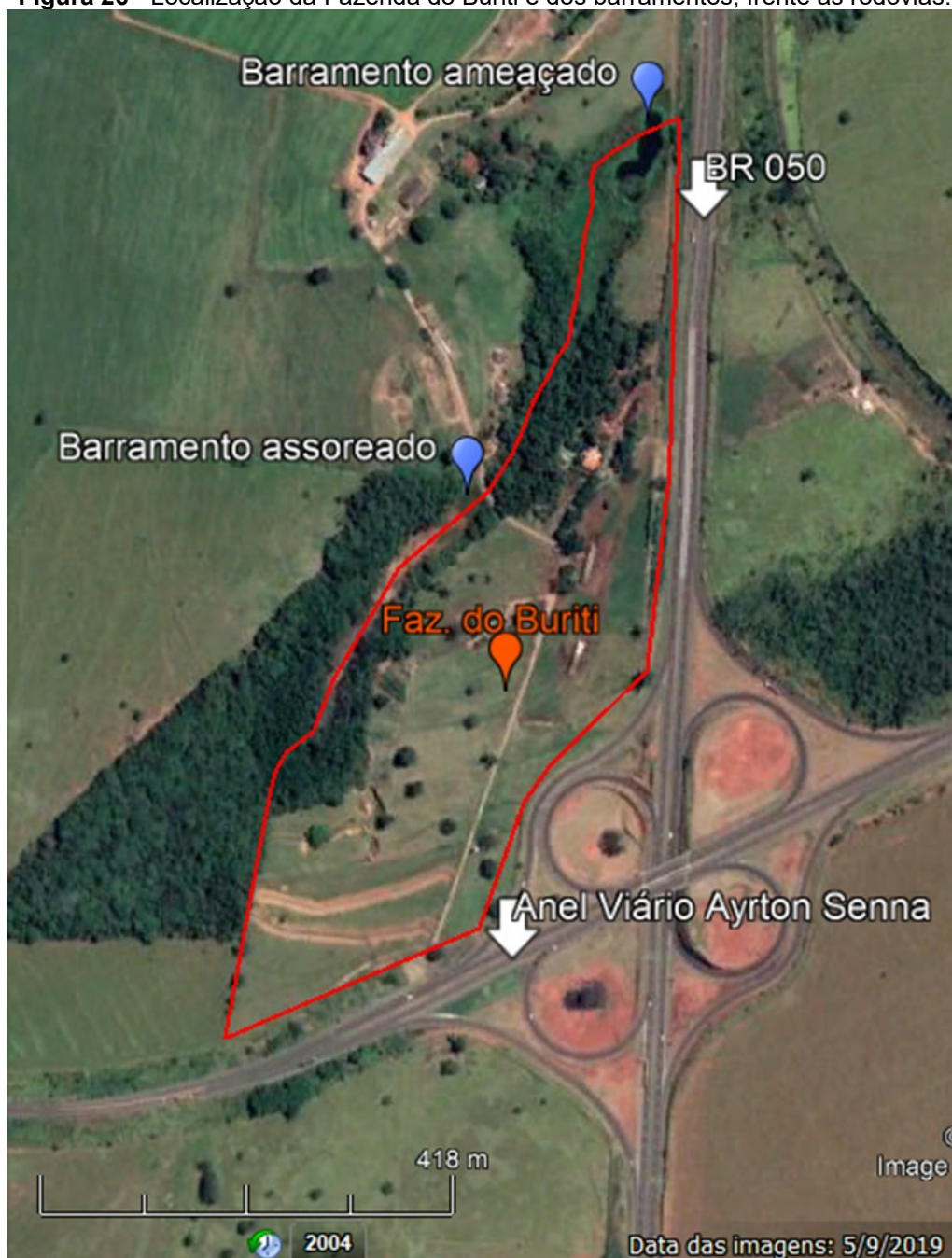
O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1986) defende a tese de que a voçoroca é a feição mais flagrante da erosão antrópica, podendo ser formada através de uma passagem gradual da erosão laminar para erosão em sulcos e ravinas cada vez mais profundas, ou então, diretamente a partir de um ponto de elevada concentração de águas pluviais.

Neste caso, na Fazenda do Buriti não houve incidência de erosão laminar progressiva para sulcos e ravinas. As imagens de satélite mostram a área sem nenhum vestígio de erosão por mais de 30 anos e em apenas 3 anos, a partir de 2016, praticamente metade do comprimento da área de pastagem foi tomada por erosão grave. A alta concentração de água pluvial demonstrada na **Figura 24** em que as linhas de drenagem tiveram seu fluxo natural interrompido pela rodovia e ao mesmo tempo, houve na Fazenda do Buriti volume excessivo concentrado num só ponto da área após a água passar debaixo da via, isso, ao longo dos anos, foi promovendo o encharcamento do solo em profundidade (em função do material de impermeabilidade imperfeita já comentado acima) e a perda de estabilidade do terreno.

A presença de curvas de nível na área da Fazenda não foi suficiente para conter o impacto das águas pluviais. As ações promovidas para escoamento de água, de modo a proteger a rodovia de inundações e evitar a aquaplanagem foram prejudiciais exclusivamente ao imóvel rural.

É de extrema urgência ações de contenção da voçoroca, assim como desassoreamento do curso d'água e principalmente do barramento (represa) no Córrego do Buriti. A tendência é de que a estrutura do barramento não suporte o excesso de peso do solo carregado pela erosão e desse modo, o próximo barramento, também dentro da Fazenda do Buriti e anexo à BR 050, será atingido (**Figura 26**). A rodovia poderá sofrer o impacto do rompimento da primeira barragem.

Figura 26 - Localização da Fazenda do Buriti e dos barramentos, frente às rodovias.



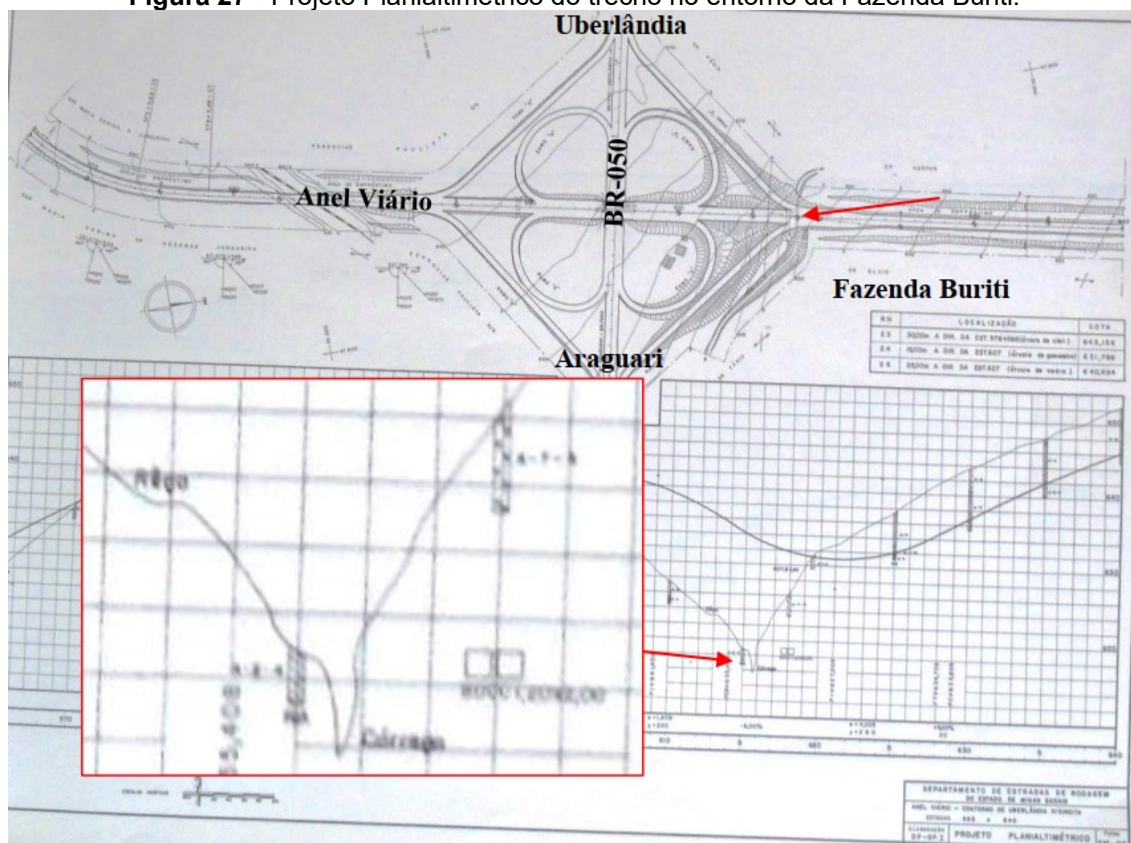
Fonte: Google Earth, 05/09/2019.

A distância entre o barramento assoreado e o barramento ameaçado é de apenas 350 metros. Pela curta distância e desnível de 12 metros entre eles, o impacto da massa de terra descendo o córrego abaixo é significativo. De acordo com a área escavada pela voçoroca (1.615 m² até 2019), o volume de solo carregado é de aproximadamente 7.000 m³. O peso específico dos solos minerais é em média 27kN/m³ (2700kg/m³), conforme valores típicos apresentados na literatura geotécnica (DAS, 2014), portanto, o solo carregado pesa então 18.900 toneladas ou quase 19 milhões de quilos.

Considerando que o primeiro barramento tinha antes do assoreamento, uma área de 1654 m² e média de 1 m de profundidade, ele comportava 1654 m³ de volume de água. No entanto, comportar 1654 m³ de água não é a mesma coisa que comportar 1654 m³ de solo. Nesse volume, a água representa 1,6 milhões de quilos ou 1,6 mil toneladas. O peso do solo é quase 3 vezes maior que a água. Sendo assim, se toda a área do barramento encher de solo carreado, ele irá romper. Caso rompa, levará consigo o equivalente à 4,6 milhões de quilos ou 4,6 mil toneladas de solo córrego abaixo.

Em análise ao Projeto de Engenharia Rodoviária – Anel Viário: Contorno de Uberlândia Pelo Direita – Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais – Julho de 1979, foi possível verificar o sistema de drenagem e o perfil planialtimétrico envolvendo as alças do trevo entre a BR-050 e o Anel Viário Ayrton Senna (Rodovia LMG-749). Como observado na **Figura 27**, verifica-se que o projeto vislumbra a existência de um curso d'água que transpassa a Rodovia LMG-749 e segue pelo interior da Fazenda Buriti.

Figura 27 - Projeto Planialtimétrico do trecho no entorno da Fazenda Buriti.



Fonte: Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais. Diretoria de Projetos. Projeto de Engenharia Rodoviária – Anel Viário: Contorno de Uberlândia Pela Direita – julho - 1979. Folha GM-08.

Conforme vistoria *in-loco*, não foi constatada a existência do citado curso d'água. O único curso d'água identificado é o córrego Buriti, cuja nascente encontra-se dentro da propriedade (**Figura 38**). Na posição que se encontra o curso d'água no projeto, existe uma tubulação que interliga os dois bolsões já mencionados.

Comparando o levantamento com o projeto de drenagem para o mesmo trecho, percebe-se que todo o sistema foi projetado para direcionar o fluxo da drenagem superficial para o curso d'água identificado no projeto. Dessa forma todo o fluxo resultante da drenagem do anel viário, das alças do trevo, bem como da BR-050, é convergido para um ponto que deveria ser um curso d'água, o qual constatou-se ser inexistente no local. Com isso o volume que deveria ser recebido e escoado pelo leito do recurso hídrico considerado no projeto, acaba se acumulando nos bolsões de contenção que não comportam o volume e extravasam para o interior das terras da Fazenda Buriti.

8. Comparativo de evolução da voçoroca

As imagens utilizadas para comparação foram obtidas em datas distintas, sendo uma em 03 de março de 2020 (**Figura 28**) e outra em 30 de março de 2021 (**Figura 29**). Nessas datas foram realizados voos autônomos utilizando um Drone Mavic Pro, que entrega imagens em alta resolução alcançando aproximadamente 3,00 cm/pixel. Após o processamento das cenas, obteve-se um ortomosaico, georreferenciado, que possibilita a análise visual e inserção de poligonal, sobreposta à área ocupada pela voçoroca.

Com isso, obteve-se o quantitativo de área; calculada a partir do limiar da borda da voçoroca, para as datas informadas, o que permitiu a comparação das áreas e determinação da progressão das áreas afetadas pela mesma. A metodologia utilizada é aceitável, uma vez que a área objeto de apreciação não apresenta obstáculos visuais que possam interferir na análise.

Figura 28 - Vista aérea da área ocupada pela voçoroca em 2020.



Fonte: Arquivos do autor. Imagem obtida por Drone em 03/03/2020.

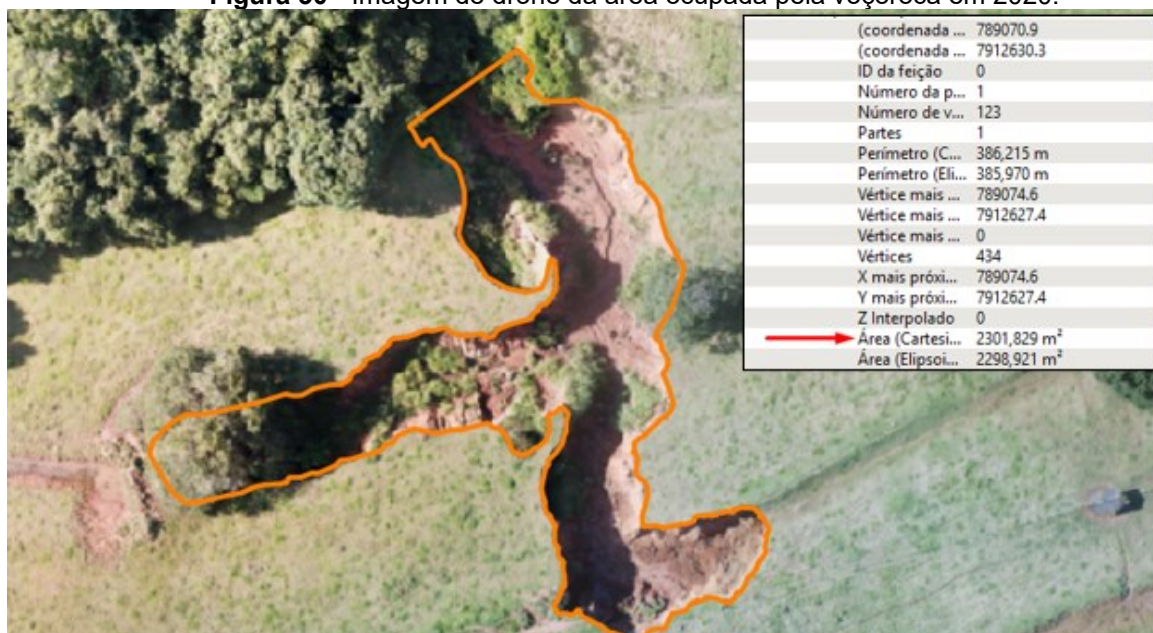
Figura 29 - Vista aérea da área ocupada pela voçoroca em 2021.



Fonte: Arquivos do autor. Imagem obtida por Drone em 30/03/2021.

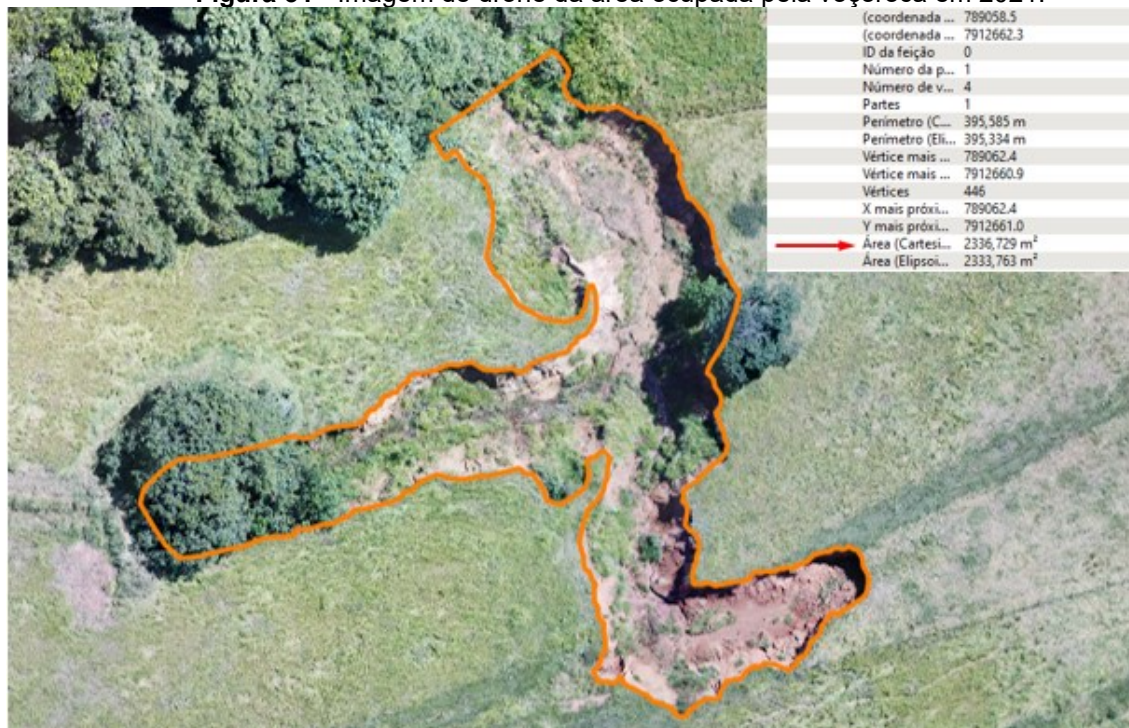
Por sobreposição das poligonais limitantes do perímetro da voçoroca, foi possível quantificar a área atingida pela voçoroca nas datas analisadas. Em 03 de março de 2020 a voçoroca atingiu uma área de 2.301,82 m² (**Figura 30**) e em 30 de março de 2021 essa área foi mensurada em 2.336,72 m² (**Figura 31**).

Figura 30 - Imagem de drone da área ocupada pela voçoroca em 2020.



Fonte: Composição do autor, 03/03/2020.

Figura 31 - Imagem de drone da área ocupada pela voçoroca em 2021.



Fonte: Composição do autor, 30/03/2021.

Aplicando algoritmo diferencial no software SIG, obteve-se a área de progressão da voçoroca entre o período de 03 de março de 2020 e 30 de março de 2021, sendo está de 34,90 m² (**Figura 32**).

Figura 32 - Área de progressão da voçoroca entre 03/03/2020 e 30/03/2021.



Fonte: Composição do autor, 2021.

Os cálculos de área apresentados dos anos de 2020 e 2021 foram elaborados pelas imagens ortomosaicos, considerando o plano cartesiano de projeção, com imagens e poligonais georreferenciadas no sistema UTM, Fuso 22, Datum: WGS84.

Ainda a análise visual comparativa entre imagens, evidencia que a progressão da voçoroca observada, está se expandindo para a porção nordeste da Fazenda do Buriti, sobre a pastagem e em direção à uma estrada que dá acesso à sede da propriedade (**Figura 33**).

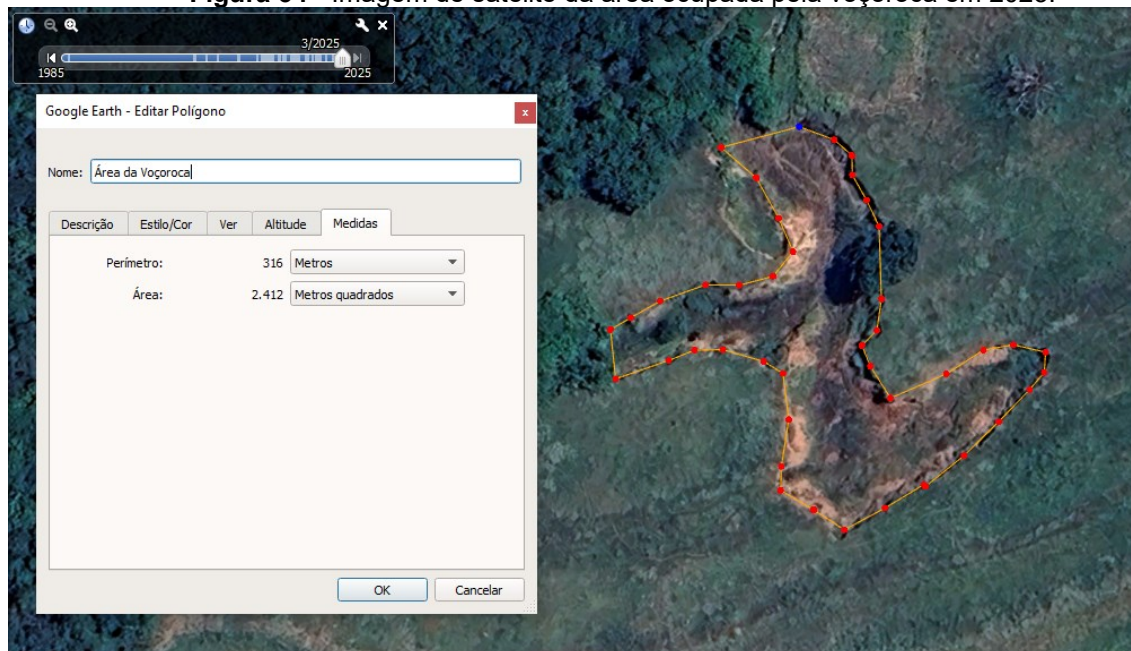
Figura 33 - Vista da área com maior grau de progressão da voçoroca.



Fonte: Composição do autor, 30/03/2021.

A **Figura 34** representa a situação da área em análise na data de 13 de março de 2025, visualizada pela imagem de satélite do Google Earth. Com isso, é possível calcular uma área aproximada de 2.412 m², da voçoroca no ano de 2025. Comparando com a área obtida em 2021, obteve-se uma progressão entre o período de 30/03/2020 e 13/03/2025, no valor de 110,18 m².

Figura 34 - Imagem de satélite da área ocupada pela voçoroca em 2025.



Fonte: Google Earth, 13/03/2025.

Analisando os valores das áreas e sua evolução durante esses anos, entende-se que no primeiro ano houve um aumento de $34,90 \text{ m}^2$, e nos 4 anos adiante um aumento de 73 m^2 , calculando o valor de cada ano dos últimos 4 anos chega-se no valor de $18,25 \text{ m}^2$. Ou seja, a voçoroca está em estado progressivo cada vez menor, porém altamente relevante, visto que as medidas implementadas para mitigar o problema foi apenas para diminuir a erosão e nenhuma para recuperar a nascente assoreada ou o barramento assoreado com iminência de rompimento.

Na **Figura 35** observa-se por aerofotografia feita com um drone a magnitude da voçoroca em 2024, nota-se também que acima da erosão existem curvas de nível estruturadas, reforçando a causa da erosão ser o excesso de umidade que desencadeou um colapso subterrâneo e posteriormente a formação de uma voçoroca, pela água pluvial advinda dos bairros e da rodovia a montante da área de pastagem.

Figura 35 - Aerofotografia da voçoroca.

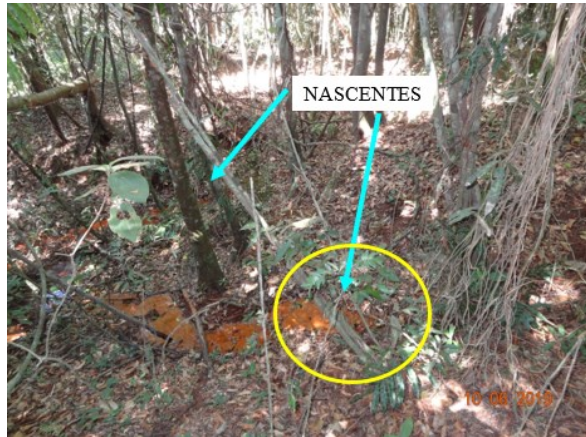


Fonte: Composição do autor, 12/12/2024.

9. Degradação da nascente e barramentos

9.1. Nascente

Como relatado anteriormente, na Fazenda do Buriti existe um processo erosivo instalado à montante da nascente, cuja dinâmica ocasionou o carreamento de sedimentos para o entorno e interior da área de recarga. A deposição excessiva de material erodido resultou em intenso assoreamento (**Figura 36**), comprometendo a qualidade físico-química do solo e, conseqüentemente, afetando a capacidade de retenção hídrica da nascente. Esse processo também ocasionou a morte de espécies vegetais nativas (**Figura 37**), tanto pela obstrução das raízes quanto pela saturação do solo, agravando ainda mais a perda de cobertura vegetal e conseqüentemente o ciclo de degradação ambiental.

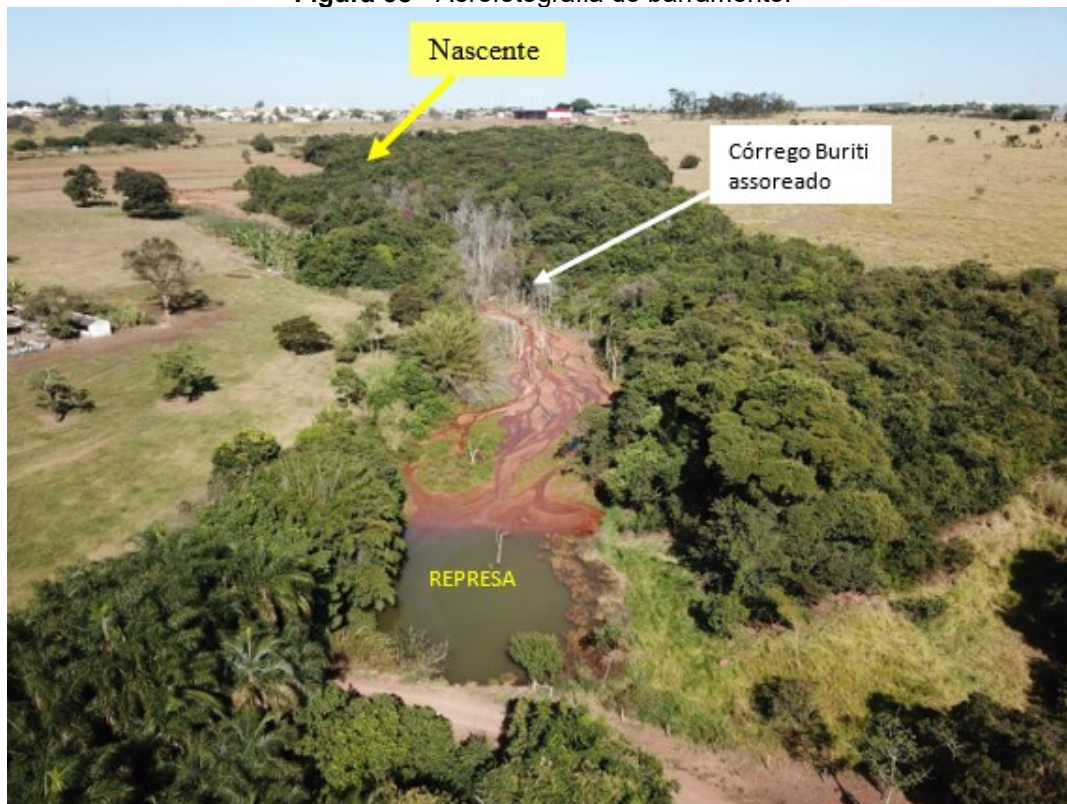
Figura 36 - Assoreamento da nascente.	Figura 37 - Vegetação morta às margens do Córrego Buriti.
	
Fonte: Composição do autor, 10/06/2019.	Fonte: Composição do autor, 10/06/2019.

9.2. Barramento

O barramento, ou represa, na área em estudo apresenta sinais evidentes de assoreamento, processo resultante do acúmulo de sedimentos provenientes da voçoroca acima da nascente, presente na bacia de contribuição. Observa-se na **Figura 38** a presença de depósitos de areia e argila ao longo do leito do córrego, que comprometeram a profundidade e a capacidade de armazenamento do barramento, além da morte da vegetação ao longo do leito do córrego.

O assoreamento reduz o volume útil da represa, altera a qualidade da água, favorece a eutrofização e compromete a biodiversidade aquática. A proximidade da nascente torna a situação ainda mais preocupante, uma vez que a degradação do córrego compromete a recarga hídrica e a manutenção da vazão ao longo do tempo. Portanto, medidas de recuperação da mata ciliar, contenção de processos erosivos e dragagem controlada do reservatório se tornam fundamentais para a reabilitação do sistema.

Figura 38 - Aerofotografia do barramento.



Fonte: Composição do autor, 10/06/2019.

10. Medidas de recuperação e compensatórias implementadas

Foi realizado uma medida compensatória no ano de 2022, pela empresa ECO 050 - Concessionária de Rodovias S.A, como obras de sistema de contenção, em cinco barragens que interceptam a água das chuvas advindas do Bairro Industrial e Minas Gerais, além de um bolsão de infiltração em área limítrofe à Fazenda do Buriti, às margens do Anel Viário Ayrton Senna, como pode ser observado abaixo. As **Figuras 39 e 40** representam as imagens do contorno norte, a **Figura 43** representa o projeto do contorno norte, já as **Figuras 41 e 42** representam as imagens do contorno norte e a **Figura 44** visualiza-se o projeto do contorno sul.

Figura 39 - Imagens do Projeto do Contorno Norte.



Fonte: Ecovias do Cerrado, 2020.

Figura 40 - Imagens do Projeto do Contorno Norte.



Fonte: Ecovias do Cerrado, 2020.

Figura 41 - Imagens do Projeto do Contorno Sul.



Fonte: Ecovias do Cerrado, 2020.

Figura 42 - Imagens do Projeto do Contorno Sul.



Fonte: Ecovias do Cerrado, 2020.

da área a ser recuperada e o entorno dela, para posterior escolha de métodos, técnicas e/ou insumos, a serem utilizados para o alcance dos resultados.

10.1. Classificação dos cenários ambientais

A Instrução Normativa IBAMA nº 14, de 1º de julho de 2024, define os procedimentos para elaboração, apresentação, execução e monitoramento de Projetos de Recuperação de Área Degradada ou Área Alterada (PRAD). Ela está em vigor desde 03 de julho de 2024, data de sua publicação no Diário Oficial da União. Nesta definição, foram estabelecidos cenários ambientais na Seção II, baseados no potencial de regeneração natural das áreas, de modo a definir o Termo de Referência a ser adotado, bem como a tipologia de projeto a ser elaborado. Tal classificação visa orientar e padronizar a abordagem das ações de recuperação ambiental. O resumo da classificação dos cenários ambientais, é apresentado na tabela a seguir:

Tabela 1 - Cenários ambientais.

Descrição dos Cenários	Metodologia de Classificação
Cenário A	Áreas com alto potencial de regeneração natural, onde há presença de vegetação regenerante abundante ou próximas a áreas com vegetação nativa remanescente com alta diversidade e densidade, solos pouco compactados e baixa presença e competição exercida por espécies invasoras, tendendo a exigir pouco manejo e intervenções incrementais para a condução da regeneração natural.
Cenário B	Áreas com médio potencial de regeneração natural, onde há alguma presença de vegetação regenerante, próximas a áreas com vegetação nativa remanescente, solos pouco compactados, possível presença de

	espécies invasoras, podendo demandar manejo por plantio de mudas, semeadura direta de espécies nativas, enriquecimento com espécies alvo, ou outras técnicas.
Cenário C	Áreas com baixo potencial de regeneração natural, onde não há presença de regenerantes ou áreas com vegetação nativa remanescente, com possibilidade de solo degradado e/ou com domínio de invasoras, podendo demandar, além de técnicas do cenário ambiental B, plantio em área total, individual ou conjuntamente, e o uso de técnicas de correção, conservação dos solos, drenagem superficial, dentre outras.

Fonte: Instrução Normativa nº 14/2024 - IBAMA.

Uma vez identificado o cenário ambiental da área a ser recuperada, o projeto deve adotar soluções apropriadas para garantir o sucesso, direcionando a área para uma trajetória positiva de recuperação. Sempre que possível, deve-se buscar a restauração completa, visando alcançar a integridade ecológica.

A adoção do cenário ambiental referente a esse estudo, baseou-se na matriz de decisão do Anexo I da IN 14/2024, para a escolha dos procedimentos de recuperação.

Tabela 2 - Anexo I: Matriz de Decisão do Termo de Referência.

Cenário Ambiental	Tamanho da área a ser recuperada	Tamanho do imóvel rural	
		Pequeno	Médio e grande
A	Até 1 (um) módulo fiscal.	Execução imediata (sem PRAD) Anexo VI	PRAD Simplificado Anexo III
B	Maior que 1 (um) módulo fiscal	PRAD Simplificado Anexo III	PRAD Completo Anexo II
C	Não se aplica	PRAD Simplificado Anexo III	PRAD Completo Anexo II
D	Não se aplica	PRAD Completo Anexo II	PRAD Completo Anexo II

Fonte: Instrução Normativa nº 14/2024 - Ibama.

A avaliação dos cenários constitui parte importante do processo de planejamento, na medida que oferece orientação e prognóstico para as tomadas de decisões sobre iniciativas e ações, visando maximizar a eficácia e a eficiência dos projetos de recuperação ambiental.

Neste contexto, o Cenário C foi o resultado da matriz de decisão para as erosões identificadas. A partir desse resultado, os subitens a seguir apresentarão os conceitos vislumbrando técnicas de controle e recuperação das áreas identificadas, em conformidade ao Anexo II da Instrução Normativa nº 14/2024 do IBAMA.

10.2. Conceitos e técnicas de controle e recuperação

Existe uma variedade enorme de opções para a revegetação de áreas degradadas, incluindo neste contexto as voçorocas. Contudo a decisão sobre a técnica mais adequada deverá ser balizada por alguns fatores, destacando-se: presença de regeneração natural de espécies nativas ou de regeneração de espécies exóticas na borda ou no leito da voçoroca; vegetação predominante na matriz; e presença no entorno da voçoroca de fragmentos florestais nativos. (GUIMARÃES et al., 2012).

Partindo desse pressuposto, a recuperação das áreas objeto deste projeto, será realizada a partir do uso de gramíneas e leguminosas, devido a proposta de tornar a área da voçoroca novamente uma pastagem, pois é a atividade desenvolvida na Fazenda do Buriti. Visando à estabilidade física do ambiente, de modo a interromper o desenvolvimento do processo erosivo. Atrelado à semeadura de gramíneas e leguminosas serão implantadas outras estratégias físicas, como a construção de barreiras em torno das erosões, melhorias nos bolsões da rodovia.

Ademais, o isolamento da área no contorno da voçoroca evitará o pastoreio de animais com cerca de arame, bem como construção de aceiros contra queimadas e construção de um cordão de contorno na cabeceira, principalmente da parte acima da voçoroca; serão as primeiras atividades a serem realizadas.

Vale salientar que as medidas propostas a serem implantadas nas barragens e no bolsão de infiltração prevê medidas nas áreas de domínio da Ecovias 050. Essas medidas devem ser executadas pela própria Ecovias 050 que é a responsável pela manutenção e adequação.

10.3. Semeadura de gramíneas e leguminosas

Antes do processo erosivo, a área de pastagem era composta predominantemente pela espécie *Urochloa brizantha*, popularmente conhecida como *Brachiaria ruziziensis* ou capim-paliçada, amplamente utilizada na bovinocultura — atividade econômica predominante na Fazenda do Buriti. Essa mesma espécie é uma das indicadas para a nova semeadura no processo de recuperação.

A adoção do consórcio entre gramíneas e leguminosas potencializa os benefícios da recuperação, promovendo a estabilização do solo, o aumento da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes.

Com a etapa de revegetação, espera-se que a intervenção de controle da erosão proporcione resultados mais duradouros, reduzindo o escoamento superficial e favorecendo a estabilização do solo.

10.4. Construção de barreiras – Paliçadas

As paliçadas são estruturas eficazes para a contenção de enxurradas e a retenção de sedimentos, tanto dentro quanto fora de voçorocas. Sua principal função

é mitigar os efeitos da erosão, reduzindo o assoreamento de cursos d'água e protegendo áreas vulneráveis, como residências localizadas em cotas inferiores.

Para a construção dessas estruturas, é recomendado o uso de materiais de baixo custo e fácil disponibilidade, como bambu, pneus usados e sacos de rafia. A escolha do local de instalação é crucial para garantir a eficiência das paliçadas; elas devem ser erguidas em locais com barrancos firmes e estáveis, capazes de suportar a força exercida pela enxurrada.

Para se obter resultados satisfatórios, recomenda-se um espaçamento de 5 metros entre as paliçadas e uma altura de 1 a 1,20 metro.

O processo de instalação envolve as seguintes etapas:

1. Criação das canaletas: Devem ser feitas canaletas tanto nas paredes laterais quanto no leito da voçoroca. A paliçada deve ser encaixada nas canaletas, sem deixar espaços para a passagem da água. A distância entre as canaletas define o tamanho dos bambus a serem utilizados.
2. Montagem da estrutura: Primeiro, finque estacas a cada metro de distância. No caso de paliçadas de bambu, os bambus são empilhados e amarrados às estacas com arame. Se forem utilizados pneus, estes devem ser "vestidos" nas estacas e, posteriormente, preenchidos com terra. As estacas também podem ser feitas de bambu.
3. Finalização: Cubra toda a estrutura com sacos de rafia abertos e amarrados aos bambus ou pneus.

10.5. Instalação de curvas de nível, manutenção e melhoria nos bolsões

A adoção de curvas de nível na área de escoamento situada a montante da rodovia, como mostra a **Figura 47 e 48**.

Os benefícios das curvas de nível em toda a área são: a diminuição do volume da água que irá infiltrar mais no terreno e a diminuição da velocidade do escoamento superficial prévio as barragens que direcionam o fluxo da água pluvial até o duto que conduz por baixo da rodovia até o interior da área da Fazenda do Buriti, onde apresenta a erosão.

Figura 47 - Imagens de satélite da área.	Figura 48 - Fotos atuais da área.
	
Fonte: Google Earth, 2025.	Fonte: Composição do autor, 06/09/2025.

Posterior a esta área existem as barragens e o bolsão de infiltração, em área limítrofe à Fazenda do Buriti, que apresentam bastante sedimentos e material lenhoso de árvores que caíram em cima das barragens, como mostra as **Figuras 49 e 50**. Os sedimentos devem ser removidos para destampar as pedras que servem para diminuir a velocidade de escoamento em que a água chega no duto, assim evita maiores danos a voçoroca. Também, observa-se que não houve manutenção das barragens, deixando a área suscetível a erosão, depósito de sedimentos e material lenhoso.

Figura 49 - Fotografia da última barragem.	Figura 50 - Fotografia da penúltima barragem.
	
Fonte: Composição do autor, 06/09/2025.	Fonte: Composição do autor, 06/09/2025.

12. Execução do projeto

A erosão compreende na totalidade uma área de 2.412 m² ou 0,2412 ha, (Figura 34).

A recuperação da área degradada delimitada será realizada inicialmente através do cercamento da área, depois a construção de paliçadas, e posteriormente a semeadura à lanço manual, na forma de consórcio de leguminosas e gramíneas.

Além disso, deve ser realizada a instalação das curvas de nível a montante da rodovia, a manutenção das barragens e do bolsão de infiltração, para remover os sedimentos e as vegetações arbustivas no entorno, sendo feito previamente ao período chuvoso (outubro/2026).

A decisão de iniciar a recuperação pelo cercamento completo da área da voçoroca está em consonância com os princípios fundamentais da restauração ecológica defendidos por Martins (2013). Segundo o autor, a eliminação dos fatores de distúrbio, como o pisoteio e o pastejo por animais, é um pré-requisito para o sucesso da regeneração.

12.1. Semeadura de gramíneas e leguminosas

A semeadura à lanço manual de leguminosas e gramíneas deverá ser feita no início do período chuvoso (novembro/2026), permitindo a germinação das sementes, para o devido desenvolvimento e estabelecimento das espécies em campo.

Recomenda-se um coquetel de leguminosas constituído pelas espécies mucuna preta (*Mucuna aterrima*) e guandu (*Cajanus cajan*). Os benefícios desta combinação são o aumento da matéria orgânica, fixação de nitrogênio, controle de plantas invasoras e melhoria da estrutura do solo promovendo aeração e infiltração de água.

Estima-se de 20 a 30 Kg de sementes de guandu por hectare semeado e a recomendação para mucuna-preta é 60 a 80 Kg/ha de sementes.

Para o consórcio com guandu e mucuna-preta, uma gramínea indicada com excelente capacidade de recuperação do solo é a *Brachiaria brizantha* (*Urochloa brizantha*), por sua grande densidade radicular e eficiência na restauração de atributos físicos do solo em profundidade. A recomendação é de 8 a 12 Kg/ha de sementes de braquiária.

A Tabela 3 exibe a quantidade de sementes necessárias para a execução do projeto de recuperação. Essa quantidade foi definida a partir da área mensurada estabelecida para recuperação.

Tabela 3 - Total de sementes necessárias para a recuperação das áreas degradadas.

Área - ha	Quantidade total de sementes - Guandu - kg	Quantidade total de sementes - Mucuna Preta - kg	Quantidade total de sementes - Brachiaria - kg
0,2412	6,1	16,9	2,5

Fonte: Composição do autor, 2025.

A escolha dessas espécies para a recuperação da área degradada justifica-se pela inviabilidade física e estrutural do solo, que impossibilita o plantio de mudas de espécies nativas. Dessa forma, optou-se por técnicas mais compatíveis com as condições locais.

De acordo com a Embrapa (2025), a técnica de revegetação de voçorocas com leguminosas arbóreas inoculadas e micorrizadas é uma solução tecnológica recomendada para promover o restabelecimento da cobertura vegetal, melhorar a infiltração, fixar nitrogênio e contribuir para a recuperação de áreas erodidas.

12.2. Paliçadas

De acordo com Faria et al. (2003), a utilização de paliçadas de bambu em voçorocas é uma técnica de bioengenharia já consolidada, recomendada para a retenção de sedimentos e diminuição da velocidade do escoamento superficial, criando condições favoráveis à revegetação e à estabilização das margens.

As paliçadas deverão ser construídas antes do período chuvoso, entre agosto/2026 e setembro/2026, na **Figura 51** é representado o modelo a ser adotado. O material utilizado será o bambu, adotando-se o espaçamento de 5 metros entre as paliçadas com a altura de 1 metro.

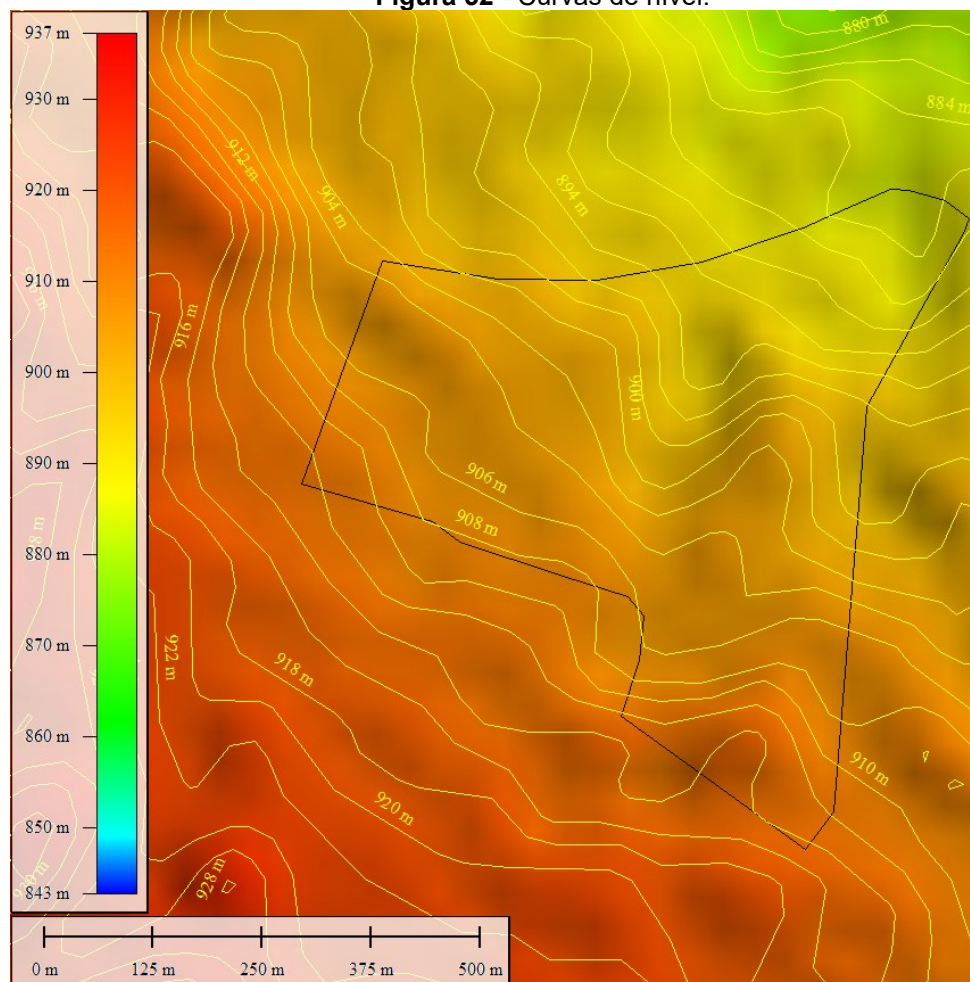
Figura 51 - Modelo da paliçada a ser instalada.



Fonte: Embrapa Agrobiologia, 2015.

12.3. Curvas de nível, barragens e bolsão de infiltração

A **Figura 47** representa uma imagem de satélite da área que recebe a água das chuvas dos bairros antes delas chegarem nas barragens da rodovia, e a **Figura 52** representa as curvas de nível. Elas devem ser construídas antes do período chuvoso, entre agosto/2026 e setembro/2026.

Figura 52 - Curvas de nível.

Fonte: NASA DEM e Global Mapper, 2025.

A implementação de práticas conservacionistas a montante, como a manutenção de barragens e a construção de curvas de nível, visa controlar a causa primária da voçoroca: a geração de escoamento superficial na área de contribuição. Esta abordagem está alinhada com os princípios de Bertoni e Lombardi Neto (2012), que postulam que o manejo adequado da água da chuva em toda a microbacia é mais eficaz do que apenas tratar a feição erosiva isoladamente.

Espera-se que, com essas estruturas, a infiltração de água no perfil do solo seja maximizada, um resultado amplamente documentado pela Embrapa Cerrados (2004) com a tecnologia das barragens, reduzindo significativamente o volume de água que alcança a voçoroca.

12.4. Custos estimados

Estima-se um custo de R\$ 1.950,00 para a implantação do consórcio de leguminosas e gramíneas, para a implantação de 29 metros de bambu estima-se o

custo de R\$ 60/m, totalizando R\$ 1.740,00. As cercas com material e mão-de-obra ficam por volta de R\$ 5.000,00.

Totalizando tem-se o valor de R\$ 8.690,00.

13. Cronograma de execução

A **Tabela 4** apresenta o cronograma de execução durante o período estimado deste PRAD. Está previsto para ser implantado no início do período seco, em agosto/2026.

Período	Trimestre	Implantação das curvas de nível (à montante da rodovia)	Cercamento da área da voçoroca	Construção de paliçadas	Semeadura à lanço de leguminosas e gramíneas
1º Ano /2026	1º				
	2º				
	3º	X	X	X	
	4º				X

Tabela 4 - Cronograma de execução para recuperação da erosão.

14. Metodologia de avaliação dos resultados

A soma e sequência dos fatores expostos, decorrentes de um impacto ambiental não mitigado (manejo de drenagem), implicaram em um dano ambiental que não se ateve somente à perda de solo na área de pastagem; ele se estendeu ao córrego abaixo, matando a vegetação e assoreando o barramento.

Avaliando os resultados, concluiu-se que o monitoramento será realizado anualmente para avaliar o desenvolvimento do consórcio implantado e a recuperação da área degradada por até três anos. Os métodos utilizados serão o registro fotográfico e a medição das áreas das erosões através do levantamento fotogramétrico ou imagens de satélite.

15. Conclusão

Levando em consideração a sequência de fatos ocorridos na Fazenda do Buriti, conclui-se que o surgimento da voçoroca não pode ser considerado fruto de situações meramente acidentais. Pelo contrário, o impacto ambiental decorrente do solapamento e do carreamento de solo está relacionado à fatores externos à Fazenda do Buriti. Assim, o responsável pela canalização da água para o interior da Fazenda assumiu o risco previsível do dano ambiental ao não implantar um sistema de drenagem adequado às condições locais.

A fim de proteger a rodovia contra inundações provenientes das chuvas em uma de suas laterais, a água acumulada devido à interrupção causada pela via deveria ter sido direcionada por meio de um sistema de drenagem associado a um dissipador de energia hidráulica, instalado na lateral da rodovia, ou até em último caso a desapropriação de parte da área da Fazenda do Buriti. Dessa forma, o problema erosivo poderia ter sido evitado.

O prejuízo verificado na Fazenda do Buriti é de natureza social e ambiental, visto que o carreamento do solo reduziu a capacidade produtiva e o valor econômico da Fazenda do Buriti. Além disso, o dano ambiental retirou solo de áreas produtivas, promoveu o assoreamento da nascente do córrego Buriti, de maneira ainda mais grave, comprometeu os taludes do barramento pelo excesso de peso do solo carregado pela erosão, surgindo então a possibilidade de rompimento do barramento.

Independentemente das circunstâncias, a ausência de um sistema eficiente para conduzir a água proveniente do canal sob a rodovia é um fato indiscutível. É de conhecimento comum em obras de engenharia rodoviária a necessidade de conduzir adequadamente as águas pluviais, não se limitando a direcioná-las de forma aleatória, e sem o devido estudo prévio.

As medidas propostas neste Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) têm como objetivo restabelecer a estabilidade física e funcional da área afetada pelo processo erosivo, minimizando os riscos de progressão da degradação e favorecendo a recomposição da cobertura vegetal.

A execução dos trabalhos contemplará a implantação de estruturas de contenção, como paliçadas na erosão e curvas de nível a montante da erosão, associadas à sementeira de gramíneas com alta capacidade de fixação do solo.

Essas ações implementadas podem reduzir a velocidade do escoamento superficial e subterrâneo, aumentar a infiltração da água e promover a proteção imediata das áreas expostas. Essas ações, integradas, podem restaurar gradualmente as condições ambientais, o que contribui para a prevenção de novos processos erosivos e garante maior sustentabilidade ao uso da área.

Definições

Cumeada: Linha que une os pontos mais altos de uma sequência de morros ou montanhas, constituindo-se no divisor de águas.

16. Referências bibliográficas

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012.

CLIMATE-DATA. **Uberlândia (Minas Gerais, Brasil) – dados climáticos**. Climate-Data.org. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/uberlandia-2896/>. Acesso em: 5 ago. 2025.

DAS, Braja M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

EMBRAPA CERRADOS. **Tecnologia de captação de água de chuva em propriedades rurais - Barraginhas**. Planaltina, DF, 2004. (Comunicado Técnico, 105).

EMBRAPA. **Conservação do solo e da água para pastagens tropicais – uma abordagem sistêmica**. Brasília: Embrapa, 28 dez. 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/8625191/artigo-conservacao-do-solo-e-da-agua-para-pastagens-tropicais---uma-abordagem-sistemica>. Acesso em: 20 set. 2025.

EMBRAPA. **Revegetação de voçorocas com leguminosas arbóreas inoculadas e micorrizadas – Solução Tecnológica**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/9313/revegetacao-de-vocorocas-com-leguminosas-arboreas-inoculadas-e-micorrizadas>. Acesso em: 20 set. 2025.

FARIA, V. de A. et al. **Recuperação de voçorocas com técnicas de bioengenharia e revegetação**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. (Circular Técnica, 37).

GOMES, M. **Pensando bem, você deve estar se perguntando “o que são voçorocas?”**. Embrapa Meio Ambiente, 2009. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/576633/1/2009AP23.pdf>. Acesso em: 15 set. 2025.

GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. 12. ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil Ltda, 2023. 339 p.

GUERRA, Antônio José Teixeira; GUERRA, Antônio José Teixeira. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, p. 184, 1997.

GUIMARÃES, J. C. C. et al. **Abordagem de práticas conservacionistas na recuperação de voçorocas**. Enciclopédia Biosfera, Goiânia-GO, Centro Científico Conhecer, v.8, 2012.

IBAMA. **Instrução Normativa 14 de 01 de julho de 2024**. Estabelece procedimentos para elaboração, apresentação, execução e monitoramento de Projeto de Recuperação de Área Degradada ou Área Alterada (PRAD) pelo administrado com vistas ao cumprimento da legislação ambiental em todos os biomas e suas respectivas fitofisionomias.

IPT - Instituto de pesquisas tecnológicas do estado de São Paulo. **Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo: Bacia do Peixe-Paranapanema**. São Paulo: 1986. 6v. (IPT. Relatório 24 739).

MARTINS, S. V. (ed.). **Restauração Ecológica de Ecossistemas Degradados**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2013.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad); Universidade Federal de Viçosa (UFV); Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC); Universidade Federal de Lavras (UFLA). **Mapa de solos de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Semad, 2010. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/api/records/365b8a86-6ecd-474b-ae20-30efac6107a8>. Acesso em: 21 ago. 2025.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad). **ZEE-MG – Relevância regional da fitofisionomia Floresta Estacional Semidecidual**. Belo Horizonte: IDE-Sisema, 26 fev. 2018. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c2d309a1-3555-4d26-b68e-50d9c5d1df2d>. Acesso em: 21 ago. 2025.

PEREIRA, Juliana Sousa. **A voçoroca é apenas um buraco na terra?** Veja a explicação do Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos. Comunica UFU –

Universidade Federal de Uberlândia, 8 jun. 2020. Disponível em: <https://comunica.ufu.br/noticias/2020/06/vocoroca-e-apenas-um-buraco-na-terra>. Acesso em: 12 set. 2025.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Erosão do solo**. Disponível em: <https://www.portalsaofrancisco.com.br/geografia/erosao-do-solo>. Acesso em: 5 ago. 2025.

RESENDE, Alexander Silva de. **Paliçada de bambu**. Embrapa Agrobiologia, 2015. Imagem disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/2238001/palicaada-de-bambu>. Acesso em: 1 set. 2025.

RODRIGUES, S. C.; et al. **Análise de 15 anos de estudos na voçoroca da Fazenda ...** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 25, n. 3, 2023. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2317>. Acesso em: 5 ago. 2025.

UBERLÂNDIA (MG). **Revisão do Plano Diretor Municipal de Uberlândia (MG) PDM 2024–2034: 12ª Reunião do Conselho do Plano Diretor**. Uberlândia: Prefeitura Municipal de Uberlândia, 11 jul. 2024. Disponível em: http://docs.uberlandia.mg.gov.br/wp-content/uploads/2024/07/Apresentacao_12a_Reuniao-_Conselho_Plano_Diretor.pdf. Acesso em: 12 set. 2025.

UBERLÂNDIA (MG). **Uberlândia é a cidade do interior do Brasil com maior crescimento do PIB da Indústria**. Prefeitura Municipal de Uberlândia, 23 jan. 2024. Disponível em: <https://www.uberlandia.mg.gov.br/2024/01/23/uberlandia-e-a-cidade-do-interior-e-regiao-metropolitana-de-grande-porte-do-brasil-com-maior-crescimento-do-pib-da-industria/>. Acesso em: 12 set. 2025.