



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PPGEOG

GABRIEL ANDRÉ MENDES OLIVEIRA

AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO PARQUE ESTADUAL SERRA DO
ROLA-MOÇA - MG

São João del-Rei
2023



Universidade Federal
de São João del-Rei

AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO PARQUE ESTADUAL SERRA DO ROLA-MOÇA - MG

Gabriel André Mendes Oliveira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Geografia

Linha de Pesquisa: “Dinâmica das paisagens tropicais”

Orientador: Prof. Dr. Gabriel Pereira

**São João del-Rei
2023**



Universidade Federal
de São João del-Rei

Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGGeog
Av. Visconde do Rio Preto, s/n (Km02) – Colônia do Bengo
São João del-Rei – MG – Cep. 36.301-360

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

CANDIDATO: 2020100052 - GABRIEL ANDRÉ MENDES OLIVEIRA

NÍVEL: Mestrado

DATA DA DEFESA: 22/02/2024

HORÁRIO DE INÍCIO: 10 horas

LOCAL: <https://meet.google.com/set-tnmt-nry>

MEMBROS DA BANCA		FUNÇÃO	TÍTULO	INSTITUIÇÃO DE ORIGEM
NOME COMPLETO	CPF			
GABRIEL PEREIRA	041.441.029-71	Presidente	Doutor	UFSJ
MUCIO DO AMARAL FIGUEIREDO	632.642.856-49	Membro 1	Doutor	UFSJ
GUILHERME AUGUSTO VEROLA MATAVELI	089.552.696-41	Membro 2	Doutor	INPE

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO PARQUE ESTADUAL SERRA DO ROLA-MOÇA - MG

Em sessão pública após apresentação oral do candidato, o mesmo foi arguido pela banca e esta, à vista de todo o conteúdo apresentado julgou o candidato:

(x) Aprovado.

() Reprovado.

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata, que é abaixo assinada pelos membros da banca, na ordem acima relacionada e pelo candidato.

São João del-Rei, 22 de fevereiro de 2024.

Documento assinado digitalmente



GABRIEL PEREIRA

Data: 16/07/2025 17:16:14-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Presidente: _____

Documento assinado digitalmente



MUCIO DO AMARAL FIGUEIREDO

Data: 16/07/2025 16:30:00-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro1: _____

Membro2: Guilherme Augusto V. Mataveli

Membro 3: _____

Documento assinado digitalmente



GABRIEL ANDRÉ MENDES OLIVEIRA

Data: 18/09/2025 23:00:34-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Candidato: _____

Obs.: O aluno deverá encaminhar à coordenação do curso, no prazo máximo de 45 dias os exemplares definitivos da dissertação.

Campus Santo Antônio
Pça. Frei Orlando, 170
cep:36.307-352
Centro
São João del-Rei - MG

Campus Dom Bosco
Pça. Dom Helvécio, 74
cep:36.301-160
Fábricas
São João del-Rei - MG

Campus Tancredo Neves
(CTAN)
Rodovia BR 494, Km 02
cep:36.300-000
Colônia do Bengo
São João del-Rei - MG

Campus Alto Paraopeba
(em implantação)
Rodovia MG 443, Km 07
cep: 36.420-000
Fazenda do Cadete
Ouro Branco - MG

Campus Divinópolis
Av. Sebastião Gonçalves
Coelho, 400
Chanadour
Divinópolis - MG

Centro Cultural da UFSJ
Pça. Dr. Augusto das
Chagas Viegas, 17
cep:36.300-088
Centro
São João del-Rei - MG

"Busco a verdade, pelo qual nenhum homem jamais foi ferido."

Marco Aurélio

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que estiveram comigo durante este período.

RESUMO

OLIVEIRA, Gabriel André Mendes. M.Sc., Universidade de São João del-Rei. 2023. **Avaliação Ambiental do Parque Estadual Serra do Rola-Moça – MG**. Orientador: Prof. Dr. Gabriel Pereira. Coorientador: Prof. Dr. Fábio Soares de Oliveira. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGEORG – Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, 2023.

O Cerrado é um importante bioma brasileiro, e sofre pressões advindas a expansão urbana, agrícola e minerária, as taxas de degradação ligadas ao cerrado vem crescendo ao longo dos anos no Brasil, e devido a esta pressão mostra-se necessário estudos relacionados a este bioma. O Parque estadual Serra do Rola-moça (PESRM) encontra-se próximo a capital do estado de Minas Gerais e abrange 4 municípios, possui elevado grau de endemismo, e está caracterizado com uma Unidade de Conservação de Proteção integral, constituindo uma importante área para a recarga de mananciais responsáveis pelo abastecimento de grande área próxima à capital mineira. Contudo o PESRM sofre com interferências causadas pela ação humana, como incêndios, retirada de espécies nativas e inserção de espécies invasoras que contribuem para a queimada acelerada das áreas do parque, além disso, impactos consideráveis podem ser verificados em sua Zona de Amortecimento, o avanço da mineração ao longo dos anos teve crescimento considerável em sua área de ação. A incidência de incêndios no PESRM, atingiu seu ápice em ano anterior a criação do parque, e teve picos durante anos consequentes a criação do parque, totalizando mais de 220 km² queimados nos últimos 35 anos, contudo foi possível verificar a eficácia de uma zona de amortecimento para a redução de impactos nocivos a Unidade de conservação.

Palavras-Chave: Parque Estadual da Serra do Rola-Moça; Queimadas; Cerrado; Zona de Amortecimento.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Gabriel André Mendes. M.Sc., Universidade de São João del-Rei. 2023. **Avaliação Ambiental do Parque Estadual Serra do Rola-Moça – MG**. Advisor: Prof. Dr. Gabriel Pereira. Co-supervisor: Prof. Dr. Fábio Soares de Oliveira. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGEOG – Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, 2023.

The Cerrado is an important Brazilian biome, and it is under pressure from urban, agricultural and mining expansion, the degradation rates linked to the cerrado have been growing over the years in Brazil, and due to this pressure, studies related to this biome are necessary. The Serra do Rola-moça State Park (PESRM) is located near the capital of the state of Minas Gerais and encompasses 4 municipalities, has a high degree of endemism, and is characterized as an Integral Protection Conservation Unit, constituting an important area for the recharge of springs responsible for supplying a large area close to the capital of Minas Gerais. However, the PESRM suffers from interference caused by human action, such as fires, removal of native species and insertion of invasive species that contribute to the accelerated burning of the park areas, in addition considerable impacts can be verified in its Buffer Zone, the advance of the mining over the years has had considerable growth in its area of action. The incidence of fires in PESRM reached its peak in the year prior to the creation of the park, and reached peaks during the years following the creation of the park, totaling more than 220 km² burned in the last 35 years, however it was possible to verify the effectiveness of a Buffer zone to reduce harmful impacts to the Conservation Unit.

KEYWORDS: Parque Estadual da Serra do Rola-Moça; Fires; Cerrado; Buffer zone.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Limites municipais - PERSM	17
Figura 2: Mapa hipsométrico - PERSM	18
Figura 3: Mapa de declividade PERSM e ZA	19
Figura 4: Áreas de Proteção Especial-PERSM	23
Figura 5: Áreas de queimada PERSM/ZA 1993	48
Figura 6: Áreas de queimada PERSM/ZA 1999	50
Figura 7: Áreas de mineração PERSM/ZA 1985	52
Figura 8: Áreas de mineração PERSM/ZA 2021	53
Figura 9: NDVI PERSM/ZA 2021	53
Figura 10: Infraestrutura Urbana próxima ao PERSM	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Data de criação de unidades de conservação no estado de Minas Gerais	27
Tabela 2: Unidades de conservação com recepção a visitantes em Minas Gerais ...	28
Tabela 3: Unidades de conservação sem estrutura para abrigar visitantes em Minas Gerais.....	28
Tabela 4: Incêndios florestais na área de estudo	49
Tabela 5: Incêndios na Zona de amortecimento do PESRM.....	50
Tabela 6: Incêndios no interior do PESRM.....	51
Tabela 7: Tamanho das áreas de mineração na zona de amortecimento	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	<i>Computer Aided Design</i>
COPASA/MG	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
IEF	Instituto Estadual de Florestas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NDVI	Índice De Vegetação Da Diferença Normalizada
PESRM	Parque Estadual Serra do Rola Moça
SiBCS	Sistema Brasileiro De Classificação De Solos
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SPRING	sistema de processamento de informações georreferenciadas
UC	Unidade de Conservação
ZA	Zona de Amortecimento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Área de estudo	16
1.1.1	<i>Cerrado sensu strictu</i>	19
1.1.2	<i>Campos ferruginosos</i>	21
1.1.3	<i>Hidrologia</i>	22
1.2	Objetivos	24
1.2.1	<i>Objetivos gerais</i>	24
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	24
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
2.1	Unidades de conservação	26
2.1.2	<i>Efeitos da proximidade humana com as UC's</i>	30
2.2	Queimadas e incêndios	32
2.2.1	<i>Calor</i>	33
2.2.2	<i>Combustível</i>	34
2.2.3	<i>Oxigênio</i>	35
2.2.4	<i>Queimadas</i>	35
2.2.5	<i>Incêndios</i>	36
2.2.5.1	<i>Tipologia dos incêndios</i>	37
2.2.5.2	<i>Sazonalidade e Clima</i>	38
2.2.5.3	<i>Topografia</i>	38
2.2.5.4	<i>Severidade</i>	39
2.3	Mineração	40
2.3.1	<i>Compensação ambiental</i>	41
2.4	Geoprocessamento	43
3	METODOLOGIA	46
3.1	Coleta e análise de dados	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
	Apêndice A NDVI PESRM/ZA julho de 1985	63
	Apêndice B NDVI PESRM/ZA setembro de 1985	63
	Apêndice C NDVI PESRM/ZA julho de 1987	64
	Apêndice D NDVI PESRM/ZA junho de 1988	64
	Apêndice E NDVI PESRM/ZA junho de 1989	65
	Apêndice F NDVI PESRM/ZA setembro de 1990	65
	Apêndice G NDVI PESRM/ZA setembro de 1991	66
	Apêndice H NDVI PESRM/ZA junho de 1992	66
	Apêndice I NDVI PESRM/ZA setembro de 1993	67
	Apêndice J NDVI PESRM/ZA agosto de 1994	67

Apêndice K NDVI PESRM/ZA setembro de 1995	68
Apêndice L NDVI PESRM/ZA setembro de 1996.....	68
Apêndice M NDVI PESRM/ZA agosto de 1997	69
Apêndice N NDVI PESRM/ZA agosto de 1998.....	69
Apêndice O NDVI PESRM/ZA setembro de 1999	70
Apêndice P NDVI PESRM/ZA agosto de 2000.....	70
Apêndice Q NDVI PESRM/ZA agosto de 2001	71
Apêndice R NDVI PESRM/ZA julho de 2002.....	71
Apêndice S NDVI PESRM/ZA agosto de 2003.....	72
Apêndice T NDVI PESRM/ZA julho de 2004	72
Apêndice U NDVI PESRM/ZA julho de 2005.....	73
Apêndice V NDVI PESRM/ZA julho de 2006	73
Apêndice W NDVI PESRM/ZA agosto de 2007	74
Apêndice X NDVI PESRM/ZA setembro de 2008	74
Apêndice Y NDVI PESRM/ZA julho de 2009	75
Apêndice Z NDVI PESRM/ZA agosto de 2010	75
Apêndice A1 NDVI PESRM/ZA setembro de 2011	76
Apêndice B1 NDVI PESRM/ZA outubro de 2013.....	76
Apêndice C1 NDVI PESRM/ZA agosto de 2014.....	77
Apêndice D1 NDVI PESRM/ZA agosto de 2015.....	77
Apêndice E1 NDVI PESRM/ZA agosto de 2016.....	78
Apêndice F1 NDVI PESRM/ZA agosto de 2017	78
Apêndice G1 NDVI PESRM/ZA julho de 2018.....	79
Apêndice H1 NDVI PESRM/ZA agosto de 2019.....	79
Apêndice I1 NDVI PESRM/ZA agosto de 2020	80
Apêndice J1 NDVI PESRM/ZA junho de 2021	80

1 INTRODUÇÃO

As modificações humanas nos ecossistemas vêm causando graves problemas ambientais, como a perda de biodiversidade e a fragmentação dos habitats naturais, o que representa um grande desafio para a preservação das características naturais dos biomas brasileiros. No Brasil, essas pressões são visíveis em todos os biomas, especialmente na Mata Atlântica e no Cerrado. Ambos possuem alta diversidade de espécies endêmicas, mas foram profundamente alterados por atividades humanas e hoje representam apenas uma fração do que foram no passado (Uezu e Cullen, 2012).

O Cerrado, que é o segundo maior bioma do Brasil e ocupa 22% do território nacional, destaca-se por ter a flora mais rica entre as savanas do mundo. No entanto, o bioma sofre constantes ameaças de incêndios criminosos e da invasão de espécies, como as gramíneas africanas (Klink e Machado, 2005). Com o crescimento populacional e a expansão agrícola, o uso do solo no Cerrado mudou significativamente. Antes de 1950, a agricultura ali era limitada, e a região era usada principalmente para criação de gado bovino (Klink e Moreira, 2002).

Já a Mata Atlântica, desde o início da colonização europeia, passou por intensiva exploração, sendo que originalmente ocupava cerca de 1.400.000 km² e abrigava uma enorme diversidade de espécies, muitas delas exclusivas dessa região. No entanto, séculos de exploração resultaram em severas perdas para sua biodiversidade e nas condições naturais do bioma (Galindo-Leal e Câmara, 2012).

A Mata Atlântica é um dos ecossistemas mais diversos e ricos do mundo, mas, ao mesmo tempo, um dos que mais sofre com ameaças e pressões. No passado, essa floresta se estendia por uma vasta área no Brasil, cobrindo desde o Nordeste até o Sul, num território que ultrapassava 1,4 milhão de km². Hoje, restam apenas cerca de 12% desse total original, e o que sobrou está dividido em áreas pequenas e isoladas, o que coloca em risco a sobrevivência de muitas das espécies que dependem desse ambiente (WWF Brasil, 2023).

Esse bioma abriga uma enorme diversidade de vida, com milhares de espécies de plantas e animais, muitas delas exclusivas da Mata Atlântica. A vegetação é rica e variada, com árvores majestosas, como o jequitibá-rosa e o pau-brasil, além de uma grande quantidade de bromélias, orquídeas e palmeiras. A fauna é igualmente impressionante, com animais emblemáticos, como o mico-leão-

dourado, aves como o sabiá-laranjeira e várias espécies raras de répteis e anfíbios. Por causa desse grau de diversidade e endemismo, a Mata Atlântica é considerada um "hotspot" de biodiversidade – uma área de prioridade global para a conservação (WWF Brasil, 2023).

Desde a chegada dos europeus, a Mata Atlântica vem sendo alvo de intensa exploração. No início, pela extração do pau-brasil, que possuía grande valor comercial. Com o passar dos séculos, a degradação aumentou, impulsionada pela expansão da agricultura, da pecuária e da urbanização. De acordo com a Unesp (2023), esse bioma, que originalmente cobria cerca de 15% do território nacional, foi reduzido a apenas 12,4% de remanescentes florestais, “a maior parte em fragmentos muito pequenos e isolados, o que compromete a conservação da biodiversidade”.

A Mata Atlântica abriga as maiores cidades do país, como São Paulo e Rio de Janeiro, e essa concentração populacional e de atividade econômica gera uma pressão imensa sobre o bioma. Conforme destaca a reportagem, cerca de 145 milhões de brasileiros vivem nesse território, que também concentra 70% do PIB nacional, o que evidencia a relação direta entre degradação ambiental e dinâmica socioeconômica (UNESP, 2023).

A fragmentação da floresta é outro grande problema. Pequenos fragmentos isolados dificultam a movimentação e a reprodução das espécies, afetando a biodiversidade e a genética dos animais e plantas. Além disso, prejudicam serviços ecossistêmicos fundamentais, como a regulação climática, a proteção dos solos e o abastecimento de água — vitais para as cidades e a produção agrícola. Como ressalta a Unesp (2023), a Mata Atlântica é responsável por “garantir o fornecimento de água para oito em cada dez brasileiros”.

Apesar de todos esses desafios, existem esforços de conservação. Nos últimos anos, várias unidades de proteção foram criadas, e projetos de restauração vêm sendo desenvolvidos com a ajuda de ONGs, universidades e da sociedade civil. Mas a recuperação desse bioma exige compromisso constante e políticas públicas eficazes, capazes de frear o desmatamento e promover práticas sustentáveis nas áreas ao redor. A criação de corredores ecológicos, que conectam fragmentos de mata, é uma estratégia promissora, pois fortalece os serviços ecossistêmicos e amplia a chance de sobrevivência das espécies em uma das regiões mais importantes do planeta.

A necessidade de territórios com um tratamento diferenciado se mostra evidente no contexto atual da conservação de paisagens naturais no Brasil, sendo previsto em lei a formação de Unidades de Conservação (UC), e é definido pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação¹ (SNUC) como espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (Brasil, 2000).

As unidades de conservação têm um papel fundamental na preservação da biodiversidade, funcionando como refúgios em meio às áreas impactadas pela ação humana. Elas ajudam a proteger características naturais importantes, incluindo aspectos geológicos e a diversidade biológica e vegetal, além de também promoverem o uso sustentável dos recursos naturais (Brasil, 2000)².

Apesar de seu propósito principal de conservar o ambiente natural, essas áreas protegidas também enfrentam pressões causadas por atividades humanas ao seu redor, especialmente em regiões próximas a cidades de médio e grande porte. A expansão urbana, como a construção de novos bairros, tem se intensificado em várias partes do país e pode afetar diretamente as unidades de conservação. Além disso, em zonas rurais, atividades agrícolas geram pressão adicional sobre essas áreas, seja pelo desmatamento ou pelas queimadas, que muitas vezes se transformam em grandes incêndios florestais (Silveira, 2016).

Algumas regiões enfrentam um conflito direto entre a preservação ambiental e o desenvolvimento econômico, especialmente as que são ricas em minerais. Nesses locais, a pressão para abrir novas minas é alta, e a infraestrutura necessária para viabilizar essa exploração – como estradas para transporte e acesso – acaba comprometendo a integridade ambiental. Esse tipo de atividade pode provocar danos sérios, como a degradação da vegetação, a poluição do solo e da água, dificultando muito a conservação das áreas próximas devido ao impacto dessas

¹ Art. 2º Para os fins desta Lei, entende-se por:

I - unidade de conservação: espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção [...].

² Art. 4º O SNUC tem os seguintes objetivos:

[...]

VII - proteger as características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural [...].

operações (Silveira, 2016).

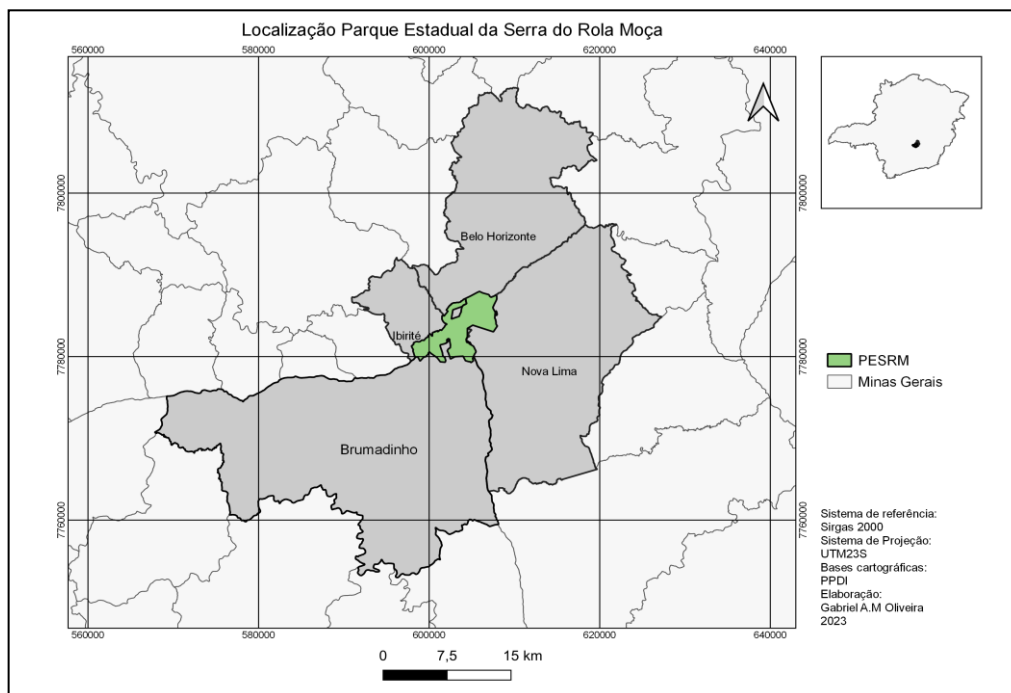
Um exemplo que ilustra bem essa situação é o Parque Estadual Serra do Rola-Moça (PESRM), que foi criado em 27 de setembro de 1994 pelo Decreto nº 36.071. Ele ocupa uma área de 3.942 hectares e está situado entre os municípios de Belo Horizonte, Brumadinho, Ibirité e Nova Lima, em Minas Gerais. O parque fica no famoso Quadrilátero Ferrífero, uma região central e estratégica de Minas Gerais, que tem aproximadamente 7.000 km² e se estende de Ouro Preto a Belo Horizonte. Essa área é um dos principais depósitos minerais do estado e uma das regiões de mineração mais tradicionais do país (Roeser e Roeser, 2010).

Devido à riqueza mineral do Quadrilátero Ferrífero, o Parque Estadual Serra do Rola-Moça enfrenta enormes pressões das atividades de mineração que ocorrem ao redor. Esse conflito entre a preservação ambiental e as demandas econômicas torna a gestão do parque bastante desafiadora, já que o impacto da mineração pode afetar tanto a biodiversidade quanto os recursos naturais da região, criando um dilema entre manter as áreas naturais e aproveitar os recursos econômicos.

1.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada na porção central do estado de Minas Gerais, na confluência das serras do Curral, da Moeda e dos Três Irmãos. Seus limites territoriais abrangem os municípios de Belo Horizonte, Brumadinho, Ibirité e Nova Lima, inserindo-se no contexto da Região Metropolitana de Belo Horizonte. A unidade possui uma extensão territorial de 3.942 hectares, conforme ilustrado na **Figura 1** (IEF, 2007):

Figura 1: Limites municipais - PERSM

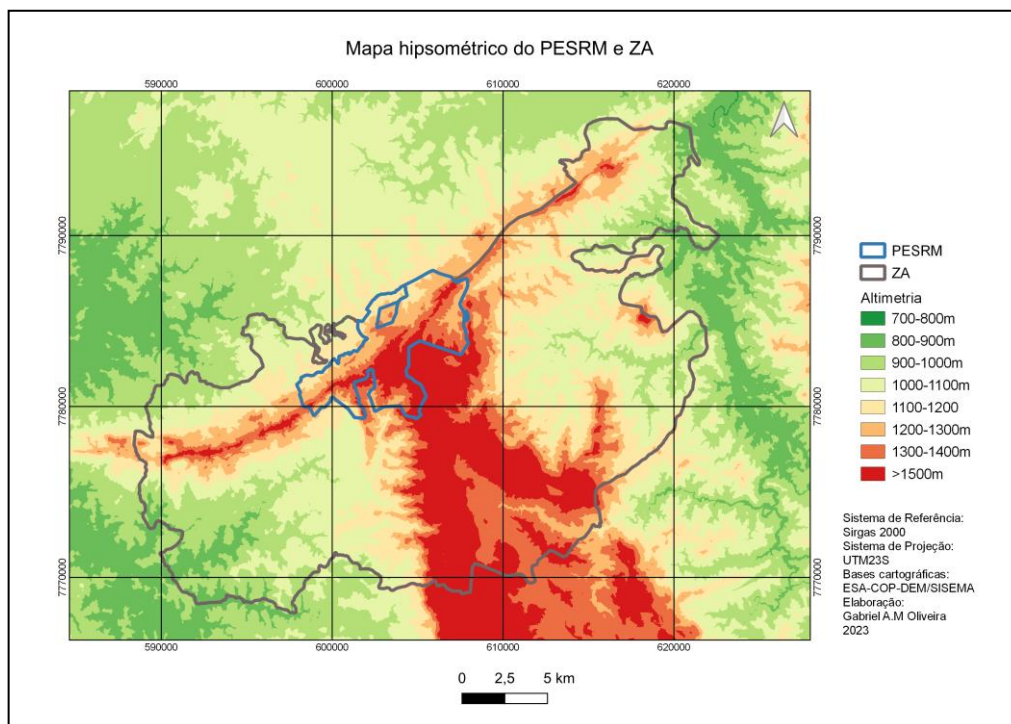


Fonte: PPDl, 2023.

O clima da região se encaixa em uma faixa de transição entre tropical e subtropical, e na classificação de Köppen é definido como o clima Cwa, com regiões mais altas, superando os 1.200 metros de altitude, possui características bem definidas quanto suas estações, uma estação e outra seca (Ribeiro e Walter; Sano *et. al*, 2008).

O relevo do parque concentra-se acima dos 900 metros de altitude o que pode ser visto na **Figura 2**:

Figura 2: Mapa hipsométrico – PESRM

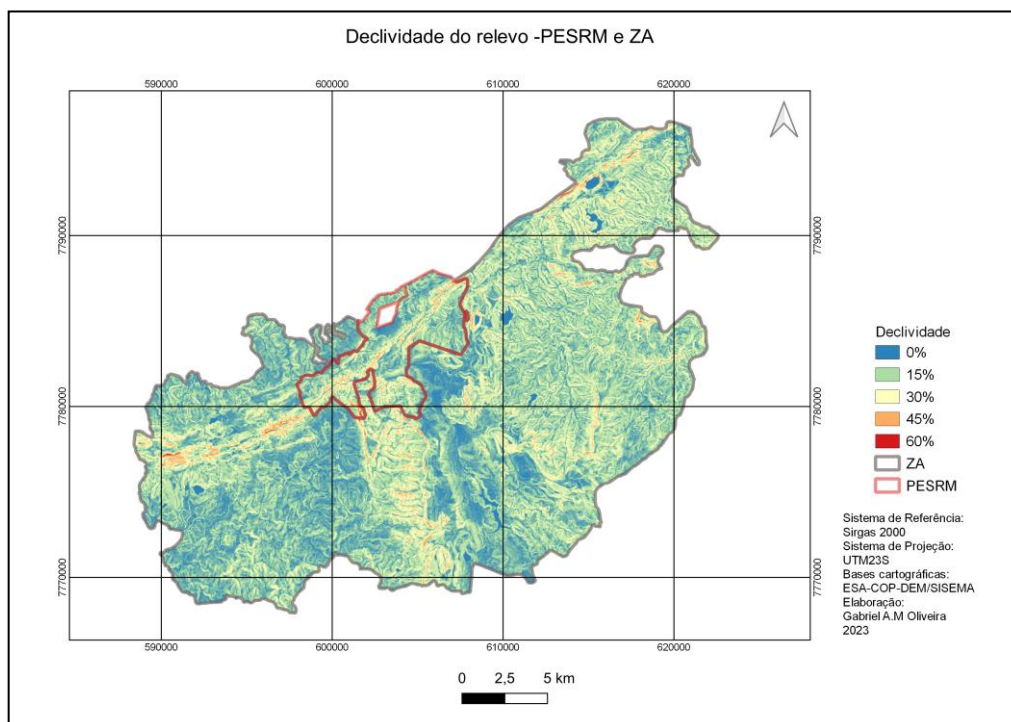


Fonte: ESA-COP-DEM/SISEMA

Quanto à declividade, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (EMBRAPA, 2018), o relevo pode ser categorizado em cinco classes principais: (I) suave ondulado: com elevações de 50m a 100m, com declividades de 0% a 3%; (II) suave ondulado: com elevações de 50m a 100m e declives de 3% a 8%; (III) ondulado: declividade entre 8% e 20%, caracterizando relevos com contornos mais acentuados; (IV) forte ondulado: elevações de 50 a 200 m, com declividade entre 20% e 45%, apresentando relevos pronunciados; (V) montanhoso/escarpado: declividade superior a 45%, correspondendo a relevos acidentados e escarpas de alta inclinação (EMBRAPA, 2018).

O relevo do parque apresenta declividades predominantes entre 15% e 45%, classificando-se, segundo o SiBCS, majoritariamente como ondulado a forte ondulado. Em áreas específicas, o terreno adquire feições montanhosas, com declividades superiores a 45%, o que pode ser visto na **Figura 3**:

Figura 3: Mapa de declividade PESRM e ZA



Fonte: ESA-COP-DEM/SISEMA

Os biomas e ecossistemas protegidos dentro da área do PESRM, são o Cerrado (Cerrado *sensu strictu*, Savana gramíneo lenhosa, campos de gramíneas, campos rupestres sobre quartzito e sobre canga) e a Mata Atlântica, fazendo assim, da UC, uma área de transição e contato entre biomas, o que lhe proporciona um elevado nível de endemismo com uma biodiversidade elevada (IEF, 2007; MMA 2011).

1.1.1 Cerrado *sensu strictu*

O Cerrado sentido restrito, pode ser caracterizado pela presença de árvores pequenas, com inclinação, geralmente irregulares e retorcidas, com algumas espécies apresentando xilopódios, órgãos que permitem a rebrota após queima ou corte, e que se beneficiam de rápido crescimento no período chuvoso (Ribeiro e Walter; Sano *et. al*, 2008).

Os solos sobre esse tipo de vegetação pertencem em sua grande maioria aos Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelho-Amarelo, que podem ser definidos como:

São solos fortes ou moderadamente ácidos (pH entre 4,5 e 5,5), com carência generalizada dos nutrientes essenciais, principalmente fósforo e nitrogênio. Com frequência apresentam altas taxas de alumínio. O teor de matéria orgânica varia de médio a baixo (Ribeiro e Walter; Sano *et. al*, 2008, p.174).

O Campo Rupestre possui características fitofisionômicas predominantemente herbácea-arbustivo, ocupando trechos de afloramento rochosos, sendo verificado em altitudes acima dos 900 m, ocorrendo normalmente em Neossolos Litólicos, ou em frestas de afloramentos rochosos, com isso sua composição de espécies vegetais pode sofrer grandes diferenças em poucos metros de distância, sendo condicionantes para estas, a profundidade do solo, fertilidade, disponibilidade de água (Ribeiro e Walter; Sano *et. al*, 2008).

A savana gramíneo-lenhosa, também denominada campo limpo do Cerrado, caracteriza-se por uma predominância de espécies herbáceas e pela ausência de árvores, o que a distingue das demais fitofisionomias do bioma. Essa formação ocorre com maior frequência em chapadas e nas bordas das matas de galeria, estando fortemente associada a solos do tipo Neossolos Litólicos, Cambissolos e Plintossolos Pétricos, cujas propriedades físico-químicas influenciam diretamente a composição florística e a produtividade da vegetação (Ribeiro e Walter; Sano *et. al*, 2008).

Além de sua estrutura predominantemente herbácea, o campo limpo apresenta adaptações ecológicas específicas, como sistemas radiculares profundos que permitem a tolerância a longos períodos de seca e a resistência a incêndios periódicos, fatores que moldam a dinâmica da vegetação e influenciam a diversidade de espécies. Essa fitofisionomia desempenha funções ecológicas relevantes, incluindo a manutenção de serviços ecossistêmicos, como a regulação do ciclo hidrológico, a proteção do solo contra erosão e a provisão de habitat para fauna endêmica do Cerrado, ressaltando sua importância para a conservação da biodiversidade regional (Ribeiro e Walter; Sano *et. al*, 2008).

O PESRM apresenta mais de 90% de sua área total classificada como Zona de Uso Extensivo, caracterizada predominantemente por ambientes com atributos naturais preservados. No entanto, essas áreas podem incluir zonas de uso primitivo, nas quais ocorreram pequenas intervenções humanas, abrigando espécies de flora e fauna ou fenômenos naturais de elevado potencial científico. Além disso, o parque possui zonas intangíveis, correspondentes ao mais alto grau de preservação dentro

de uma unidade de conservação, localizadas em áreas afastadas de vias de acesso e praticamente isentas de impactos antrópicos. Tais categorias de manejo ambiental fornecem suporte essencial à manutenção da biota e à integridade dos sistemas ecológicos, garantindo a conservação dos processos ambientais e a continuidade dos serviços ecossistêmicos (IEF, 2007).

1.1.2 Campos ferruginosos

O Parque Estadual Serra do Rola-Moça (PESRM) constitui uma área de elevada importância ecológica, em grande parte em razão de suas características geológicas singulares. O parque abriga geossistemas ferruginosos formados por litologias de origem Arqueana e Paleoproterozoica, datadas entre aproximadamente 2,7 bilhões e 540 milhões de anos. Esses sistemas são considerados raros no Brasil, com ocorrência destacada em regiões como o Quadrilátero Ferrífero (MG), a Morraria do Urucum (MS), a Serra de Carajás (PA) e o Vale do Rio Peixe Bravo (MG), entre outras (Souza e Carmo; Carmo e Kamino, 2015).

Além de seu valor geológico, os geossistemas ferruginosos desempenham funções ecológicas relevantes, sustentando vegetação especializada adaptada a solos ricos em ferro e a condições ambientais severas, como baixa fertilidade e regimes hídricos restritos. Essa vegetação, por sua vez, oferece habitat para uma fauna endêmica e diversas espécies ameaçadas, contribuindo para a manutenção da biodiversidade regional. A estrutura desses ecossistemas também influencia os serviços ambientais, incluindo a proteção de recursos hídricos e a regulação do microclima local, ressaltando a importância do PESRM não apenas como unidade de conservação, mas como modelo de integração entre geodiversidade e biodiversidade (Souza e Carmo; Carmo e Kamino, 2015).

Para compreender a relevância ecológica dessas áreas, é necessário analisar a interação entre os diferentes componentes do ecossistema. Os geossistemas ferruginosos são constituídos por litologias ricas em ferro, incluindo itabiritos, cangas e jaspilitos. Além da composição rochosa, o solo, a hidrologia e a vegetação desempenham papéis fundamentais na configuração desses ambientes. A interação entre esses elementos gera condições ambientais altamente específicas, às quais a fauna e a flora locais devem apresentar adaptações fisiológicas e morfológicas complexas para sobreviver. Dessa forma, esses sistemas não se configuram apenas

como formações geológicas de interesse, mas constituem ecossistemas dinâmicos e integrados, em que a interdependência entre componentes bióticos e abióticos sustenta a diversidade biológica regional (Souza e Carmo; Carmo e Kamino, 2015).

Nos Campos Rupestres Lateríticos, ou Campos Ferruginosos, que fazem parte dessa região, as plantas são desafiadas a viver em altitudes elevadas, geralmente entre 900 e 1.800 metros. O solo nessas áreas é raso, pobre em nutrientes e tem baixa capacidade de retenção de água devido à sua porosidade. Por isso, a vegetação precisa ser adaptada para sobreviver nessas condições adversas. As plantas dessa região têm raízes fortes que conseguem acessar os nutrientes e a pouca água disponível, e muitas delas são diferentes daquelas encontradas em áreas mais baixas e férteis, criando uma diversidade única (Schafer *et al.*; Carmo e Kamino, 2015).

No Quadrilátero Ferrífero, uma área de cerca de 7.000 km² em Minas Gerais, aproximadamente 13% da região, ou cerca de 90.000 hectares, é composta por essas formações ferruginosas. Nesses locais, os solos são rasos, pedregosos e cobertos de cascalhos, o que dificulta ainda mais a vida das plantas. Uma característica bastante visível são as cangas, camadas superficiais formadas por rochas misturadas com minerais como limonita e hematita, que dão ao solo uma coloração característica e influenciam sua capacidade de absorver água. A mineração, especialmente a extração de ferro, tem grande impacto nesse ambiente, afetando as cangas e outros elementos do solo, o que pode prejudicar o equilíbrio ecológico da área (Schafer *et al.*; Carmo e Kamino, 2015).

1.1.3 Hidrologia

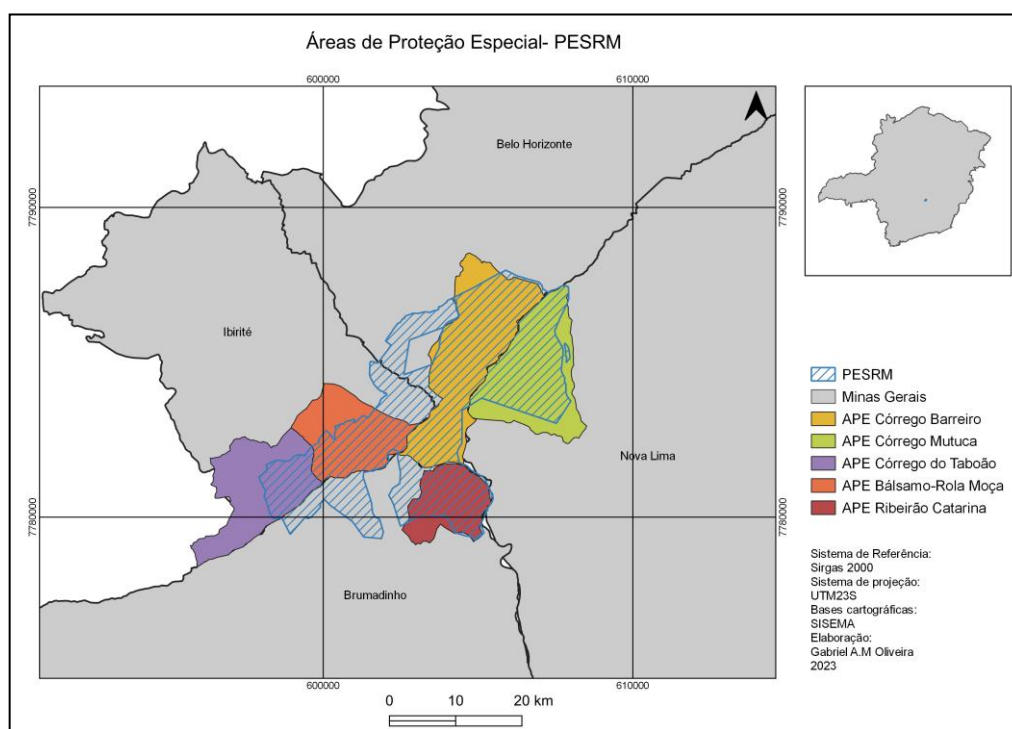
O Brasil tem a maior disponibilidade hídrica do mundo, cerca de 19% do total global, cerca de 8.130 km³ fluem em território nacional, apesar de todo potencial hídrico, o Brasil enfrenta problemas de escassez hídrica e problemas no uso da água em algumas regiões (Lima e Silva; Sano *et. al*, 2008).

O crescimento populacional requer uma demanda maior dos sistemas hídricos, seja pelo crescimento na demanda por gêneros alimentícios, ou pelo uso da água pelo consumo direto da população, sendo assim, são necessárias medidas que visem a proteção e melhor aproveitamento dos recursos hídricos (Lima e Silva; Sano *et. al*, 2008).

O Parque Estadual Serra do Rola Moça foi criado em 27 de setembro de 1994, com o objetivo de proteger os mananciais de água utilizados pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA/MG), conforme estabelecido no Decreto Estadual nº 36.071, de 27 de setembro de 1994 (Minas Gerais, 1994). Posteriormente, sua proteção foi reforçada pela Portaria IEF nº 43, de 28 de março de 2012, do Instituto Estadual de Florestas (IEF, 2012).

Os mananciais de água presentes no perímetro da UC são, Taboões, Rola-moça, Bálsamo, Barreiro, Mutuca e Catarina, sendo estes declarados pelo Governo do estado de Minas gerais como área de proteção com fins de preservação permanente, sendo instituídos através dos decretos: Decreto nº 22092 de 1982, Decreto nº 22109 de 1982, Decreto nº 21372 de 1981, Decreto nº 22110 de 1982, o que pode ser visto na **Figura 4**:

Figura 4: Áreas de Proteção Especial-PESRM



Fonte: SISEMA

Os mananciais do sistema Catarina, (SIN Catarina), sendo o principal manancial o homônimo, atendem as sedes urbanas das cidades de Belo Horizonte, Brumadinho, Ibirité e Nova Lima, com uma população atendida de 24 mil habitantes (ANA,2021)

Os mananciais do sistema integrado Ibirité (SIN Ibirité) representado pelos

córregos Bálsamo, Rola Moça e Taboões, atendem os municípios de Belo Horizonte e Ibirité, com uma população urbana atendida de 111 mil habitantes (ANA, 2021).

Estes mananciais são de extrema importância para o abastecimento urbano, devido às fortes pressões já exercidas na captação na região metropolitana de Belo Horizonte, nos sistemas dos mananciais do Rio das Velhas e Paraopeba, que atendem 65% e 27% das necessidades de abastecimento da cidade de Belo Horizonte (ANA, 2021).

O PERSM também possui uma Zona de Amortecimento (ZA) que ocupa 48.314ha, estas zonas de amortecimento conforme descrito pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), são áreas de entorno a uma unidade de conservação com o objetivo de traçar normas e restrições a atuação de atividades humanas em dada área visando a redução de impactos causados sobre a unidade (VIO, 2001), o que é explicado na legislação:

Art. 2º Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por:

[...]

XVIII - zona de amortecimento: o entorno de uma unidade de conservação, onde as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade (BRASIL, 2000).

Embora o restrinja o uso, o objetivo não é promover a total ausência de atividades econômicas impedindo o desenvolvimento econômico, visto que em grande parte a ZA estão em propriedades privadas, mas criar condições sólidas para o desenvolvimento, de maneira ordenada e orientada visando a redução dos possíveis impactos (VIO, et.al, 2001).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos gerais

Analisar espacialmente as áreas de queimadas no Parque Estadual da Serra do Rola Moça – MG.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Identificar as áreas de queimadas, no PERSM no período espacial de 1985 ao ano de 2021, compreendendo um período de 36 anos;
- b) Analisar fatores antrópicos das áreas de queimadas;
- c) Analisar a influência vegetativa nas áreas de queimadas;
- d) Analisar o crescimento da mineração na Zona de Amortecimento do PESRM
- e) Gerar mapas demonstrando a influência de fatores antrópicos e naturais nos incêndios.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Unidades de conservação

A ideia de áreas geográficas especializadas para a preservação do ambiente natural não é nova, podendo ser vistos nos antigos bolsões destinados para a caça pela realeza, ou com motivadores religiosos ou culturais, essa ideia de uma área dedicada ao longo dos anos passa por modificações trocando sua identidade de áreas religiosas e culturais, para um esforço coletivo devido as mudanças causadas pelo homem (Benjamin, 2001).

Com o final do século XIX, em resposta a pressão dos movimentos conservacionistas as primeiros Parques Nacionais começam a surgir, sendo o primeiro nos modelos atuais o *Yellowstone National Park*, criado em 1872 nos Estados Unidos, buscando a preservação de ambientes de natureza exuberante (Benjamin, 2001).

A concepção de unidades de conservação (UCs) no Brasil remonta ao período colonial, evidenciando-se, ainda no início do século XIX, a preocupação de José Bonifácio com o estado do ambiente natural brasileiro. Tal preocupação decorreu, em grande parte, de suas observações sobre a degradação e perda de fertilidade dos solos em Portugal, onde estudou, o que o levou a refletir sobre a necessidade de medidas de preservação e manejo sustentável do território nacional (Diegues, 2001).

O engenheiro André Rebouças, também foi forte proponente da criação de parques nacionais, defendendo o fim do desmatamento e a criação destas unidades de conservação em 1876, com base no modelo adotado nos Estados unidos. Mas somente em 1937, e criado a primeira área destinada a pesquisa e ao lazer das populações urbanas, denominado Parque Nacional do Itatiaia (Diegues, 2001).

O aumento no número de parques se deu maneira tímida, começam a ser criados outros parques em 1948 onde e instituído o de Paulo Afonso, os parques criados localizavam-se principalmente na região sudeste e sul, áreas com maior urbanização e população (Diegues, 2001).

Durante os anos 60, devido ao crescimento da destruição de florestas, crescimento acelerado da produção agrícola e agropecuária são criados doze parques nacionais, sendo três no estado de Goiás e um no distrito federal (Diegues,

2001).

Durante os anos 70, 14 parques nacionais e 12 florestas nacionais já haviam sido incorporadas ao Sistema Federal de Unidades de Conservação, totalizando 3.014.269 ha, e neste momento também o esforço estadual se mostrou presente com a criação de 26 parques e reservas estaduais (Raylands e Brandon, 2005).

O Estado de Minas Gerais instituiu, em 1939, o primeiro parque estadual do estado, o Parque Estadual do Rio Doce, por meio do Decreto-Lei nº 1.119, de 1944. Posteriormente, o Decreto nº 5.831, de 1960, aprimorou a regulamentação de criação do parque, estabelecendo de forma mais detalhada sua finalidade e determinando medidas legais voltadas à proteção do ambiente natural (Minas Gerais, 1939, 1960).

Apesar do progresso inicial lento, observou-se avanço significativo na regulamentação e criação de unidades de conservação em Minas Gerais. A Lei nº 21.724, de 1981, estabeleceu o regulamento específico para os parques estaduais mineiros, reunindo-os sob a tutela do Estado e definindo normas para sua gestão e preservação. Essa legislação representou um marco importante na consolidação de políticas de conservação ambiental no estado, fortalecendo a proteção dos ecossistemas e a sustentabilidade das áreas naturais. A **Tabela 1** mostra os parques estaduais de Minas gerais existentes no ano de 1981.

Tabela 1: Data de criação de unidades de conservação no estado de Minas Gerais

Nº	Município	Nome	Norma de criação
1	Belo Horizonte	Bosque Modelo	Decreto 4.939, de 25.01.66
2	Marliéria	Parque Estadual do Rio Doce	Decreto 1.119, de 14.07.44
3	Uberaba	Horto Florestal do Posto Eli	Decreto-Lei 2.038, de 04.02.44
4	Ouro Preto e Mariana	Itacolomi	Lei 4.495, de 14.07.67
5	Lima Duarte	Parque Florestal de Ibitipoca	Lei 6.126, de 04.07.73
6	Manga	Parque Florestal da Jaíba	Lei 6.126, de 04.07.73
7	Jaboticatubas e outros	Parque da Serra do Cipó	Decreto 19.278, de 03.07.78
8	Lagoa Santa e Pedro Leopoldo	Parque do Sumidouro	Decreto 20.375, de 03.01.80

Fonte: MINAS GERAIS, 1981.

Apesar de tímido início, a necessidade da criação de áreas de conservação no estado se ampliou ao longo dos anos, culminando na estrutura de preservação

observada em Minas Gerais agora, com a presença de 38 UC's com infraestrutura para recepção de visitantes, conforme a **Tabela 2** abaixo.

Tabela 2: Unidades de conservação com recepção a visitantes em Minas Gerais

1	Parque Estadual do Ibitipoca	2	Parque Estadual do Rio Doce
3	Parque Estadual do Itacolomi	4	Parque Estadual do Rio Preto
5	Parque Estadual de Nova Baden	6	Parque Estadual da Serra do Brigadeiro
7	Parque Estadual da Serra do Rola-Moça	8	Parque Estadual do Sumidouro
9	Parque Estadual Lapa Grande	10	Parque Estadual Mata do Limoeiro

Fonte: IEF, 2023.

As demais UC's, ou possuem visitação em períodos pré-determinados pelo IEF, ou não possuem estrutura para abrigar os visitantes, visualizado na **Tabela 3**:

Tabela 3: Unidades de conservação sem estrutura para abrigar visitantes em Minas Gerais

1	Baleia	2	Biribiri
3	Caminho dos Gerais	4	Campos Altos
5	Grão Mogol	6	De Paracatu
7	Lagoa do Cajueiro	8	Mata Seca
9	Montezuma	10	Pau Furado
11	Pico do Itambé	12	Rio Corrente
13	Serra Verde	14	Cerca Grande
15	Serra da Boa Esperança	16	Serra da Candonga
17	Serra das Araras	18	Serra do Cabral
19	Serra do Intendente	20	Serra do Papagaio
21	Serra Negra	22	Serra Nova
23	Sete Salões	24	Verde Grande
25	Veredas do Peruaçu	26	Alto Cariri
27	Serra do Ouro Branco	28	Da Serra do Sobrado

Fonte: IEF, 2023

As Unidades de Conservação, tem um importante aspecto na redução das taxas de desmatamento, devido a criação de áreas que impedem o avanço da degradação ambiental, criando assim um ambiente propício para a conservação do ambiente natural, além da melhora na qualidade do ar, abastecimento de água e contenção de erosões (MMA, 2011).

A preservação destes ambientes é uma obrigação intergeracional, garantindo a passagem de ambientes protegidos e com a mínima interferência humana para as próximas gerações, algo de grande importância com as grandes pressões climáticas e ambientais que o planeta vem sofrendo (Worboys *et al.*, 2015).

Os benefícios da preservação de ambientes naturais são inúmeros, contudo, a preservação de ambientes que já estão estabelecidos são uma tarefa relativamente mais simples, devido a criação e obrigação legal pela preservação desses ambientes quando comparadas com ambientes preservados que não desfrutam de proteção legal e que podem ser alterados levando a degradação (Worboys *et al.*, 2015).

A rápida deterioração de ambientes naturais devido à expansão de atividades custosas ao meio ambiente como a mineração, agricultura de larga escala que dependem de defensivos agrícolas, fertilizantes reforçam a ideia da importância desses ambientes com a mínima alteração humana, em especial o sequestro e armazenamento de carbono, ambientes bem preservados podem evitar a soltura deste carbono na atmosfera primeiramente por estarem bem preservados, e por não liberarem gás carbônico adicional por se tratar de um ambiente preservado (Worboys *et al.*, 2015).

E no bioma Cerrado, uma grande pressão pode ser verificada pela rápida expansão da atividade agrícola, essa atividade quando empregada de maneira mal planejada é danosa para a conservação do ambiente natural, conforme relatado:

No bioma Cerrado, as áreas mais aptas para a agricultura têm sido ocupadas, provocando a destruição de habitats únicos. Os organismos que vivem nesses habitats vêm sendo excluídos ou ficam isolados em manchas ainda menores. As subpopulações isoladas estão mais propensas à extinção, pois sofrem os efeitos deletérios da estocasticidade demográfica, da ambiental, da genética e das catástrofes (Aquino e Miranda; Sano *et al.*, 2008, p. 338).

Unidades de conservação também são uma maneira eficiente de controlar riscos ambientais promovidos pelas mudanças antropogênicas, a vegetação natural

pode controlar erosões de solo, reduzir as taxas de desertificação, e áreas ambientais saudáveis podem reduzir e ser capazes de resistir a queimadas, o que demonstra sua importância reduzindo riscos, bem como reduzindo custos e protegendo vidas (Worboys *et al.*, 2015).

Estes ambientes controlados e bem preservados também oferecem uma oportunidade única para pesquisas científicas, muito devido as suas condições ainda intocadas pela ação humana, sendo uma representação precisa do ambiente natural, além disso, podem servir como para a educação ambiental de crianças, jovens e adultos, oferecendo contato direto com o meio natural (Worboys *et al.*, 2015).

2.1.2 Efeitos da proximidade humana com as UC's

Muitas vezes os interesses das UC's se chocam com as pressões vindas do crescimento desordenado e expansão mobiliária urbana, com o crescimento do déficit habitacional surge a necessidade de se expandir o crescimento das cidades, muitas vezes esses empreendimentos não atendem as técnicas necessárias para sua instalação, trazendo consequências negativas tanto para meio natural, quanto para o construído (Moretti, 2013).

O processo de urbanização brasileiro está ligado a industrialização que ocorre no fim do século XIX, a Primeira Guerra Mundial dá início a industrialização brasileira, que de maneira lenta começa seu processo de industrialização (Lorenzetti e Araujo; Ganem, 2015). Até a metade do século XX, a distribuição da população brasileira ainda favorece o campo, somente após a mecanização agrícola que esta distribuição começa a se alterar com o sentido para as cidades, mudando radicalmente a dinâmicas dessas cidades. O grande contingente populacional que fazia o movimento do rural para urbano agora se depara com cidades que se expandiam em um ritmo acelerado, muito além do suportado por essas cidades (Lorenzetti e Araujo; Ganem, 2015).

Um dos problemas sérios da urbanização brasileira é a falta de moradia adequada, onde fatores como saneamento básico, serviços, saúde e educação passam a ser fatores determinantes para boas condições de vida, contudo a população de baixa renda não consegue acompanhar as demandas do mercado, que elevam os preços das moradias que atendem esses requerimentos de

adequação (Lorenzetti e Araujo; Ganem, 2015).

E quando as demandas dessas populações não são atendidas pelo estado, ela busca através de seus próprios meios a solução para este problema, ocupando de maneira irregular áreas públicas ou privadas, muitas vezes espaços dedicados para a conservação do meio ambiente (Lorenzetti e Araujo; Ganem, 2015).

Essa urbanização descontrolada tem introduzido uma pressão grande em um ambiente natural, facilitando a degradação dessas áreas nas bordas das UC's, elevando o risco de incêndios, introdução de espécies invasoras, furto de espécies nativas (IEF, 2007; Worboys *et al.*, 2015)

A presença de estradas e fator que gera risco em UC's, a presença delas pode alterar a hidrologia, a mecânica dos sedimentos e transporte destes, a qualidade da água, microclima. Elas operam alteram a quantidade de energia disponível em um sistema, acelerando fluxos fluviais, o que pode levar a erosão, muito devido à grande crescimento de energia neste sistema, o efeito contrário também pode ser notado atuando como uma barreira para o fluxo fluvial (Coffin, 2007).

Estradas também podem inserir um risco químico a estes ambientes controlados, usando essas estradas para viajar grandes distancias, através da água ou ar, muitos destes são introduzidos no meio ambiente devido a emissão de gases por veículos, como o monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), dióxido de enxofre (SO₂), chumbo (Pb) entre outros poluentes que, que também podem entrar em ambientes próximos a estradas e em aquáticos através das águas pluviais (Coffin, 2007).

As proximidades destas estradas podem servir como uma barreira para as espécies em seu entorno, impedindo a livre circulação destes fragmentando assim seu *habitat*, e quando a barreira pode ser transposta existe um risco grande de colisão e atropelamento de fauna (Coffin, 2007).

O uso de estradas por espécies invasoras também pode existir, geralmente espécies generalistas, elas se aproveitam das condições propicias para tal, como pouca competição com espécies nativas, quantidade elevada de água devido a alteração causada pela estrada, o que beneficia também a disponibilidade de nutriente, que permite que essas espécies prosperem nesses ambientes (Coffin, 2007).

2.2 Queimadas e incêndios

Os incêndios e queimadas são um grande desafio para os esforços de conservação, e são responsáveis por grande parte do aumento da concentração gases poluentes na atmosfera, causando também alterações severas na biodiversidade, mudanças no microclima e piora da qualidade do ar. Além dos danos causados ao meio ambiente, incêndios não controlados tem um grande custo ao erário público demandando assim rápida ação e deslocamento de unidades de combate ao fogo (Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius, 2007).

O fogo representa um elemento natural e cultural de longa data, cuja utilização e manejo acompanham a evolução da humanidade e dos ecossistemas. Evidências indicam que os primeiros sinais de ocorrência de incêndios datam de 450 a 400 milhões de anos atrás, demonstrando seu papel recorrente na dinâmica ambiental (Pyne, 2019). Paralelamente, o domínio humano sobre o fogo, há mais de um milhão de anos, permitiu sua aplicação em atividades essenciais como iluminação, defesa e preparo de alimentos, evoluindo gradualmente para práticas agrícolas, pastoril e industriais.

No contexto do Cerrado brasileiro, estudos sugerem que populações pré-coloniais já empregavam o fogo de forma controlada pelo menos 1.200 anos antes da chegada dos portugueses, utilizando-o para manejo do território e manutenção de práticas de caça e agricultura (Coltinho; Huntley; Walker, 1982).

Apesar de Pyne (2019) dar enfoque na queima industrial durante a discussão de “Fire: A Brief History” é importante ressaltar o entrelaçamento das queimadas e incêndios recorrentes voltados para a atividade agropastoril com o desmatamento e sua participação nas mudanças climáticas.

Com a chegada dos colonizadores, o fogo passou a assumir uma função predominantemente agrícola, sendo empregado para o preparo de terras destinadas ao plantio. Essa prática, embora eficiente para abertura e renovação de áreas rurais, provocou impactos significativos sobre os solos, a qualidade da água e a atmosfera, contribuindo para a degradação ambiental (MMA, 2011).

Atualmente, o uso do fogo como instrumento de manejo agropecuário permanece relativamente comum, mas deve ser realizado de forma controlada, mediante autorização dos órgãos ambientais competentes, com a implementação de planos de manejo específicos e em estrita conformidade com a legislação vigente,

de modo a minimizar seus efeitos sobre os ecossistemas (MMA, 2011).

Para que uma queimada ocorra, é necessário a presença de alguns elementos fundamentais. Considerando a adaptação proposta por Allencar *et al.* (2020), esses elementos compõem o chamado Triângulo do Fogo, formado por: combustível, condições ambientais e ignição. A partir desses três componentes, é possível introduzir uma quarta dimensão — o próprio fogo — transformando o triângulo em um Tetraedro do Fogo.

O combustível refere-se principalmente à matéria vegetal, viva ou morta, presente em diferentes estratos da vegetação, que se torna inflamável, especialmente durante a estação seca e após a derrubada da vegetação. Esse processo resulta na produção de cinzas oriundas da queima da biomassa.

As condições ambientais incluem fatores essenciais para a combustão, como a presença de oxigênio, a fitofisionomia da vegetação, a ocorrência de períodos de seca e os índices pluviométricos. Esses fatores influenciam a intensidade e a propagação das chamas, determinando a velocidade e o alcance do fogo.

A ignição corresponde à energia térmica necessária para iniciar a combustão, desencadeando uma reação em cadeia que sustenta o fogo. O calor, portanto, atua como força motriz do processo, elevando a temperatura do material inflamável e permitindo a propagação da queimada (Nepstad *et al.*, 1999; Castro *et al.*, 2003; Motta, 2008).

2.2.1 Calor

O início do fogo depende necessariamente de uma fonte de ignição, que pode ser de origem natural ou antrópica. A ignição é definida como o início da combustão. Processo em que os vapores formados pela liberação de calor de um material, juntamente com o ar, estabelecem uma mistura combustível (SPFE, 2002).

Entre os agentes naturais, destacam-se os raios, capazes de atingir áreas campestres e florestais; contudo, no território brasileiro, tais ocorrências são relativamente raras, pois as descargas elétricas costumam vir acompanhadas de precipitação, que tende a extinguir ou minimizar o foco de combustão. Dessa forma, a principal causa de ignição continua sendo a ação humana, cujo impacto é potencializado pela expansão das atividades em áreas que anteriormente se mantinham em estado natural, ampliando significativamente os riscos de acidentes

(Schumacher e Dick, 2018).

Além das causas acidentais, como queimadas realizadas para limpeza de terrenos que acabam saindo do controle, também se observam incêndios intencionais, motivados por diferentes fatores. Entre eles estão a prática criminosa, a ação de incendiários que utilizam o fogo por prazer, e usos indevidos com fins agropecuários que, pela ausência de manejo adequado, resultam em incêndios de grandes proporções. Esses diferentes contextos evidenciam a centralidade da ação humana no desencadeamento e intensificação dos incêndios florestais no Brasil (Schumacher e Dick, 2018).

2.2.2 Combustível

As propriedades físico-químicas das espécies vegetais influenciam sua suscetibilidade a atuar como combustível em incêndios florestais. A ocorrência e propagação do fogo dependem da presença de material seco em quantidade suficiente; entretanto, após a ignição, o calor liberado pode reduzir o teor de umidade da matéria orgânica circundante, aumentando sua inflamabilidade e contribuindo para a continuidade da combustão (Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius, 2007).

O tamanho e a distribuição da matéria orgânica exercem influência direta sobre sua inflamabilidade. Estruturas vegetais de menor porte, como folhas, gravetos e pequenos galhos, apresentam rápida perda de umidade em comparação a elementos de maior porte, aumentando sua suscetibilidade à ignição e acelerando o processo de combustão. Uma vez iniciada a ignição, essa biomassa queima de forma intensa, contribuindo para a propagação do fogo. Esse efeito pode ser amplificado pela ausência de herbívoros, cuja atividade normalmente regula a quantidade de matéria vegetal disponível, permitindo o acúmulo de combustível e aumentando o risco de incêndios de alta intensidade (Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius, 2007).

As fontes de combustível de grande porte, como árvores, tocos e galhos maiores, exibem propriedades termo-hídricas que diferem substancialmente das fontes leves. Esses elementos apresentam maior capacidade de retenção de umidade e liberam-na de forma gradual, aumentando seu tempo de secagem crítica. Consequentemente, sua ignição requer temperaturas mais elevadas, associadas a

um limiar energético superior. Essas características influenciam diretamente a dinâmica da combustão, a intensidade térmica liberada e a propagação do fogo em ecossistemas florestais, determinando padrões de combustão sustentada e contribuindo para o comportamento heterogêneo do incêndio (Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius, 2007).

2.2.3 Oxigênio

O oxigênio, componente fundamental do ar atmosférico, constitui aproximadamente 21% de sua composição e é essencial para a sustentação da combustão. Reduções em sua concentração para cerca de 15% podem levar à extinção das chamas, evidenciando a sensibilidade do processo de combustão à disponibilidade de oxigênio. Ademais, a presença de ventos intensos atua como multiplicador da intensidade do fogo, promovendo a renovação contínua do suprimento de oxigênio às chamas e aumentando seu potencial destrutivo por meio da propagação acelerada e do reforço térmico do incêndio (Schumacher e Dick, 2018).

A compreensão dos riscos associados às áreas de conservação requer a distinção clara entre queimadas controladas e incêndios florestais, dada a divergência em sua intensidade, severidade destrutiva e padrões de propagação. O entendimento detalhado da dinâmica de combustão, dos gradientes de severidade térmica e dos impactos sobre a estrutura e a resiliência dos ecossistemas é imprescindível para a formulação de estratégias de manejo do fogo, prevenção de danos ambientais e mitigação de riscos associados à ocorrência de incêndios em diferentes contextos ambientais.

2.2.4 Queimadas

Em um contexto de aumento global das concentrações de gases de efeito estufa, projeta-se uma intensificação significativa na frequência e na intensidade de queimadas e incêndios florestais. Embora a implementação de medidas ambiciosas de mitigação das emissões antropogênicas possa demandar investimentos elevados, os benefícios associados são amplos e multifacetados. Entre eles destacam-se a redução da concentração de poluentes atmosféricos, a melhoria da

qualidade do ar e a mitigação de problemas respiratórios em populações expostas, efeitos que se tornam ainda mais relevantes em decorrência da diminuição da ocorrência de queimadas e incêndios florestais. Esses elementos evidenciam a interdependência entre estratégias de mitigação climática e manejo integrado do fogo, reforçando a necessidade de políticas ambientais e socioambientais orientadas por evidências científicas (Setzer e Ferreira, 2025).

As queimadas são definidas como a aplicação intencional do fogo em áreas agrícolas ou em unidades de conservação, quando as características do local e as condições ambientais justificam seu emprego, sendo regulamentadas por legislação específica. Quando planejadas e executadas de forma controlada, não requerem intervenções de combate ao fogo; entretanto, queimadas mal conduzidas ou fora das condições previstas podem evoluir para incêndios florestais.

O risco potencial de queima da vegetação depende da interação de variáveis meteorológicas, independentemente do momento ou modo de ignição. Modelos de avaliação do risco consideram dados climáticos e de uso da terra, indicando que quanto maior o período sem precipitação, maior a probabilidade de ocorrência de combustão. Fatores adicionais incluídos na análise englobam o tipo e ciclo natural de desfolhamento da vegetação, temperatura máxima e umidade relativa mínima do ar, além de elevação e latitude do local, permitindo estimar o potencial de queima e orientar estratégias de manejo preventivo (Setzer e Ferreira, 2025).

2.2.5 Incêndios

Os incêndios por sua vez, são um evento de fogo que ocorre fora de controle, sendo causado muitas vezes pela ação humana direta ou indireta, como acidentes com produtos inflamáveis, negligência ou puramente criminosos. Os incêndios podem variar de tamanho, podendo se espalhar por quilômetros devido a seu não planejamento prévio, então para seu combate eficaz e necessário a intervenção humana direta (Schumacher e Dick, 2018).

Os incêndios são um problema grave em território nacional, causam impactos diretos a fauna e flora, podendo ameaçar ecossistemas por completo, sendo previstas leis que estabelecem penas aos perpetradores de tais atos como a Lei nº 10.312, de 12 de novembro de 1990 de Minas Gerais que prevê pagamento de multa e perda de incentivos governamentais, ou nas leis federais N°6.938, de 31 de

agosto de 1981, e Lei nº9.605 de 12 de fevereiro de 1998, prevendo reclusão e multa para os perpetuadores (Minas Gerais, 1990; Brasil1981,1998).

Fatores como a umidade no material combustível, a velocidade do vento e relevo podem ser ampliadores destes desastres naturais, o que pode ser agravado devido ao acúmulo de material combustível disponível, levando a incêndios de grande escala, técnicas de manejo adequada reduzem este risco como corte de vegetação reduzindo assim então a quantidade de material combustível impedindo o alastramento deste fogo (Bond e Van Wilgen, 1996).

2.2.5.1 Tipologia dos incêndios

Os incêndios podem se organizar em três grandes categorias, sendo estes relacionados a seu envolvimento em cada estrato de combustível florestal, do solo ao topo das arvores, sendo classificados assim em subterrâneos, superfície e de copa (Goldammer, 1982).

Os incêndios subterrâneos vão se propagar através das camadas mais baixas, no húmus ou turfa que existem sobre o solo em certos tipos de florestas boreais, podendo ter centímetros chegando até metros, com um avanço lento, com pouca fumaça e ausência de chamas esse tipo de incêndio é difícil para a detecção, e traz danos à fertilidade do solo podendo se transformar em incêndio superficial (Goldammer, 1982).

Outra categoria de incêndios são os de superfície, que são o tipo mais comum, esses ocorrem no piso florestal, e consome plantas que estão do solo até aproximadamente, 1,80m de altura, esse material geralmente menos espesso e altamente inflamável como folhas, capim ou matéria orgânica caída ao solo, a grande disponibilidade de material inflamável torna estes incêndios muito velozes em sua propagação, e com as condições podem dar origem a incêndios de copa (Goldammer, 1982).

Os incêndios de copa são aqueles que vão queimar acima dos 1,80 metros de altura, muitas vezes sendo originários de incêndios superficiais, podendo se desenvolver devido ao acúmulo de material combustível, altura baixa da copa, para que este incêndio propague e necessárias condições ideais, como a condição da folhagem e presença de vento para transportar o calor para a copa seguinte, geralmente estão associados a incêndios superficiais, devido queda de galhos ou

brasas que levaram a queima da vegetação rasteira. Os diferentes tipos de incêndio podem acontecer de maneira simultânea ou em diferentes combinações entre si (Goldammer, 1982; Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius, 2007).

2.2.5.2 Sazonalidade e Clima

A sazonalidade é fator de importância na compreensão de incêndios, devido a diferentes índices pluviométricos encontrados ao longo do ano, a umidade relativa do ar e temperatura podem alterar a maneira que a vegetação tenha uma maior propensão para o alastramento destas chamas, sendo necessário assim um maior cuidado nas partes do ano onde a vegetação está ressecada o que facilita a combustão, o que é observado na região do PESRM durante os meses de inverno no hemisfério sul (Bond e Van Wilgen, 2005).

Por isso, a precipitação se torna fator de importância para o potencial material combustível, a quantidade de chuva e sua distribuição temporal, grandes períodos chuvosos, fazem o material orgânico menos propenso a incêndios, elevando o teor de umidade, demonstrando assim um dos motivos da grande quantidade de material que podem se transformar em combustível durante os meses de inverno, onde as chuvas são raras (Goldammer, 1982).

Além disso a temperatura do ar e umidade relativa do ar devem ser consideradas, sendo esses fatores da secagem do material combustível, retirando umidade do material, o tornando novamente combustível, com altas temperaturas e baixa umidade a evaporação se intensifica secando este material (Bond e Van Wilgen, 1982).

2.2.5.3 Topografia

De acordo com Freire, Carrão e Caetano (2004), a topografia exerce papel determinante na propagação dos incêndios florestais, uma vez que suas características influenciam diretamente fatores meteorológicos como o vento, a temperatura e a umidade relativa do ar. Entre os principais condicionantes topográficos, destacam-se:

- a) Altitude: afeta tanto a distribuição quanto a quantidade de vegetação. Em altitudes superiores a 1500 metros, observa-se a predominância de

campos de altitude, com espécies herbáceas e arbustivas adaptadas à menor disponibilidade hídrica (Troppmair, 2004). Essas formações apresentam menor teor de água em comparação a espécies folhosas, o que as torna mais suscetíveis à combustão.

- b) Exposição das vertentes: a orientação das encostas em relação aos pontos cardeais influencia a temperatura e, conseqüentemente, o grau de secagem dos combustíveis vegetais. Vertentes voltadas ao Norte, por exemplo, tendem a ser mais aquecidas do que aquelas voltadas ao Sul, o que impacta diretamente a inflamabilidade da vegetação local.
- c) Declividade do terreno: quanto maior a inclinação, maior a velocidade de propagação do fogo, pois as chamas tendem a se dobrar no sentido ascendente. O declive, portanto, intensifica os fluxos de convecção e contribui para o aumento da velocidade das frentes de incêndio.
- d) Distribuição nas encostas: variações térmicas ao longo do perfil topográfico afetam a composição vegetal e o comportamento do fogo. Nas partes inferiores das encostas, a presença de maior biomassa vegetal associada a temperaturas mais elevadas favorece a combustão, enquanto no terço superior, onde há menos vegetação e maior incidência de ventos, o fogo pode se espalhar mais rapidamente.
- e) Vales e linhas de drenagem: por concentrarem maior densidade de vegetação e apresentarem condições microclimáticas específicas, essas áreas são particularmente vulneráveis à ocorrência do chamado efeito chaminé, caracterizado pela formação de correntes ascendentes intensas que aumentam o pré-aquecimento dos combustíveis e aceleram a propagação das chamas.

Assim, observa-se que a topografia, em suas diferentes dimensões, atua como um fator crítico no comportamento do fogo em ambientes florestais, sendo indispensável sua consideração em análises de risco e estratégias de prevenção e combate a incêndios.

2.2.5.4 Severidade

A intensidade e uma descrição das características quantificadas pela temperatura do fogo, calor liberado por este sendo medida em dois fatores, a

velocidade da queima em metros por segundo e a energia gerada, quantidade de quilowatts gerados por metro queimado, queimadas severas tem efeitos duradores no meio ambiente, podendo alterar características sob o solo, como sua bioquímica, processos hidrológicos e microbiológicos, esses processos são essenciais para a manutenção da saúde de plantas na superfície, além disso, queimadas severas levam a mortandade de árvores adultas atraso nos tempos de recuperação dessas áreas queimadas (Bento-Gonçalves *et al.*, 2019).

2.3 Mineração

A história moderna anda atrelada ao avanço da mineração, sendo esta uma das mais antigas indústrias criadas pelo homem, tendo início da “idade dos metais” como o cobre e bronze e ferro, a necessidade da exploração de minerais está presente por todos os setores da modernidade humana (Enríquez, 2007).

A domesticação de animais e fixação ao solo devido a um estilo de vida focado na agricultura permite ao homem a utilizar com maior intensidade os recursos minerais, o uso da inteligência atribui valor ao mineral, que quando ainda no solo em matéria prima não possui nenhum valor ao homem (Viana; Ganem *et al.*, 2015).

A importância das substâncias metálicas remonta aos tempos coloniais do Brasil, pelas incursões de bandeirantes que adentravam o interior do país em busca de metais preciosos como prata e ouro, os localizaram no estado de Minas Gerais, nesse momento as primeiras concessões minerais são dadas, através das “datas” os direitos de minerar, geralmente reservados a aqueles que podiam lidar com a tributação portuguesa (MMA, 1997).

Seguindo a demanda global, o crescimento da exploração de minérios no Brasil foi grande devido as condições geológicas favoráveis para a mineração, conforme relatado:

A dimensão territorial e a diversidade geológica conferem ao Brasil um potencial mineral considerável. Cerca de 42% do território nacional é constituído por terrenos geológicos antigos, com depósitos minerais metálicos de grande significado econômico. As demais áreas, de contextos mais recentes, que constituem principalmente bacias sedimentares, são fontes potenciais de minerais industriais, fertilizantes e energéticos (MMA, 1997, p.8).

Muito mudou desde o período colonial, o Ferro, quarto elemento mais

abundante da crosta terrestre agora toma o lugar do ouro, como principal minério explorado nas Minas Gerais, estado responsável por aproximadamente 70% da produção nacional.

A extração de minérios tem enorme importância na economia brasileira, ele é um grande responsável por grande parte das exportações chegando a 38 bilhões de dólares no ano de 2019, apenas o minério de ferro foi responsável por 22 bilhões deste montante. A expansão do mercado do minério de ferro pode ser atribuída pela influência do crescimento mundial, em especial da China que chegou a importar mais 1.194,09 milhões de toneladas de minério de ferro no ano de 2017 (Carvalho, 2014).

Contudo, o problema vem do choque entre a exploração mineral e a conservação de ambientes naturais, há muito já se sabe dos impactos vindos da exploração mineral, sejam esses em maior ou menor grau, do início ao fim de sua cadeia de produção (Viana; Ganem *et al.*, 2015).

Grande parte das minas ocorre em céu aberto, lavras superficiais, e possuem impactos ambientais consideráveis, sendo necessário a remoção de grande quantidade de material sem minério ou estéril, para permitir a chegada a camadas mais ricas do mineral, gerando durante esta remoção poeira, ruído, poluição das águas sendo melhor explicador por Viana; Ganem *et al.* (2015, p. 97):

A retirada do minério, tem relação direta com a topografia, a retirada de minério de ferro e quartzito geralmente ocorre em altas encostas, causando pesado impacto visual, podendo ser visto a quilômetros de distância, além disso, devido a topografia acidentada a capacidade de carreamento de sedimentos é alta, sendo necessário a criação de barragens, a ausência de barragens pode provocar assoreamento de corpos-d'água em áreas a jusante.

A extração mineral também está ligada a remoção de cobertura vegetal, que afetam diretamente a disponibilidade hídrica, qualidade do solo, ar, regimes naturais de flora e fauna, demonstrando os malefícios inerentes a exploração mineral (Viana; Ganem *et al.*, 2015).

2.3.1 *Compensação ambiental*

A compensação ambiental é um mecanismo que visa a medida de compensatória para atividades que causem impacto ambiental, o instrumento e

utilizada para impactos que não são passeis de mitigação, como perda de biodiversidade, perda de áreas de patrimônio cultural, histórico e arqueológico, e a única alternativa para compensação de perdas e a destinação para a manutenção de UC's ou criação de novas unidades, o que está previsto na Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000:

Art. 36. Nos casos de licenciamento ambiental de empreendimentos de significativo impacto ambiental, assim considerado pelo órgão ambiental competente, com fundamento em estudo de impacto ambiental e respectivo relatório - EIA/RIMA, o empreendedor é obrigado a apoiar a implantação e manutenção de unidade de conservação do Grupo de Proteção Integral, de acordo com o disposto neste artigo e no regulamento desta Lei.

[...]

§ 3º Quando o empreendimento afetar unidade de conservação específica ou sua zona de amortecimento, o licenciamento a que se refere o *caput* deste artigo só poderá ser concedido mediante autorização do órgão responsável por sua administração, e a unidade afetada, mesmo que não pertencente ao Grupo de Proteção Integral, deverá ser uma das beneficiárias da compensação definida neste artigo (Brasil, 2000).

Através do artigo 33, do Decreto Federal nº 3.340/2002, uma ordem deve ser seguida pelo Órgão Ambiental competente na distribuição dos recursos da aplicação do artigo 36 da Lei nº 9.985/2000:

Art. 33. A aplicação dos recursos da compensação ambiental de que trata o art. 36 da Lei nº 9.985, de 2000, nas unidades de conservação, existentes ou a serem criadas, deve obedecer à seguinte ordem de prioridade:

- I - Regularização fundiária e demarcação das terras;
- II - Elaboração, revisão ou implantação de plano de manejo;
- III - aquisição de bens e serviços necessários à implantação, gestão, monitoramento e proteção da unidade, compreendendo sua área de amortecimento;
- IV - Desenvolvimento de estudos necessários à criação de nova unidade de conservação; e
- V - Desenvolvimento de pesquisas necessárias para o manejo da unidade de conservação e área de amortecimento [...].

A regularização fundiária, e justificada pelas grandes áreas com regularização fundiária pendentes nas UC's no estado de minas gerais, além do pagamento de indenizações por aqueles que clamam por esta devido a processos de desapropriação devido a criação de UC's, sendo destinado, assim, 60% do montante arrecadado (IEF, 2021).

A aquisição de bens materiais ou imateriais, prevista no inciso III, visa a implantação de Plano de manejo bem como aquisição de bens e serviços para as UC's, sendo destinados 30% do montante arrecadado (IEF, 2021).

Os estudos para a criação de unidades de conservação, que visam evidenciar a relevância biológica, diagnóstico social e econômico, bem como a viabilidade do projeto quanto a sua criação e execução tem destinado 5% do montante. As pesquisas científicas, que visam ampliar o conhecimento da biota e o ambiente, assegurando assim a conservação da área preservada com o controle da evasão dos recursos protegidos, recebendo também 5% do montante arrecadado (IEF, 2021).

Por fim, os 20% restante são destinados a UC diretamente afetadas pelo empreendimento, com este empreendimento total ou parcialmente inserido no seu interior, ou em sua Zona de amortecimento (IEF, 2021).

2.4 Geoprocessamento

O geoprocessamento é a coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas, em seu início era feito por uso de documentos e mapas feitos em papel, o que impedia a combinação entre mapas e dados, com o avanço da informática a digitalização foi o próximo grande passo, o que é melhor explicado abaixo:

Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados geo-referenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos (Camara, et.al, 2001)

Em seu início, os Sistemas de Informação Geográfica, eram custosos e não muito efetivos, devido ao desenvolvimento tecnológico da época, os computadores eram caros, a mão de obra altamente especializada, baixa capacidade de armazenamento e de processamento. Com a passagem dos anos 70 algumas das bases da cartografia automatizada foram plantadas, surgimento de sistemas de CAD (*Computer Aided Design*), e fundamentos matemáticos destinados a cartografia (Camara, et al., 2001).

Na década de 80 houve grande aceleração da cartografia automatizada,

redução dos custos de computadores, criação de centros de estudo o que proporcionou barateamento, bem como uma ampliação nas aplicações dos sistemas de informação geográfica (Camara, *et al.*, 2001).

O sensoriamento remoto é um conjunto de atividades que permitem obtenção de informações de objetos sem contato direto com estes, através da detecção, aquisição e análise da energia eletromagnética emitida ou refletida por objetos, as quantidades de energia então podem ser identificadas em imagens ou dados de sensores, permitindo avaliar suas características (Camara, *et al.*, 2001).

O sensoriamento remoto apresenta como característica não perturbar o objeto ou a área de estudo devido suas características não-intrusivas, podendo levantar dados de grandes extensões geográficas permitindo o modelamento de processos naturais (Jensen, 2009).

A radiação eletromagnética interage com objetos na superfície terrestre, sendo absorvida, refletida ou transmitida por eles, conhecendo as características de espécies vegetais, por exemplo, é possível então usando sensores remotos saber as condições fitossanitárias de tal vegetação, esses dispositivos são capazes de registrar e detectar a radiação eletromagnética (Camara, *et al.*, 2001).

A radiação solar que chega na superfície terrestre, interage com a vegetação, uma parte da radiação é absorvida pelas folhas, essa quantidade de energia absorvida participa na síntese de componentes através de fotossíntese, cerca de 50% do total da radiação é absorvido, é através dessa variável que é possível se tirar conclusões a respeito das condições fitossanitárias da vegetação (Moreira, 2001).

A fotossíntese é um processo no qual plantas verdes produzem carboidratos a partir da água, e do CO₂ atmosférico, este carboidrato sintetizado através da fotossíntese são utilizadas pela planta através de um processo de decomposição que transformam em compostos menores na presença de oxigênio, liberando energia usada pela planta (Moreira, 2001).

Os índices de vegetação são fruto da evolução do sensoriamento remoto, com novos sensores instalados em satélites, os índices de vegetação permitem a redução da análise de dados, através da maximização das informações geradas no menor número de bandas operadas pelos sensores. Esses índices são resultado de transformações lineares através de soma, razão, diferença ou outra combinação de duas ou mais bandas espectrais do espectro eletromagnético (Moreira, 2001).

Os índices de vegetação, usam então, dados advindos da emissão de radiação eletromagnética, para extrair parâmetros biofísicos da vegetação, que indicam a abundância relativa, atividade da vegetação, mudanças sazonais e interanuais, o que permite o acompanhamento de biomas (Jensen, 2009).

O Índice De Vegetação Da Diferença Normalizada, NDVI, é calculado através dos valores das bandas que cobrem o vermelho (RED) e infravermelho (NIR) no espectro eletromagnético, os índices através da normalização da refletância transformam imagens em valores que podem servir como diagnostico da produção vegetal (Jensen, 2009).

O NDVI, tem como objetivo a determinação da Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR- *Photosynthetically active radiation*), pela absorção solar nesta região e as folhas reemitirem radiação solar em (NIR), e possível visualizar a vegetação em contraste, escuras em PAR e brilhantes em NIR. A quantidade de folhas de uma planta então age de maneira proporcional a quantidade de luz refletida, devido a absorção de luz do espectro visível e reflexão no infravermelho próximo.

Os valores obtidos são representados em uma escala entre -1 e +1, quanto mais próximo de um maior o índice de presença de vegetação, devido a luz refletida em NIR, o oposto também se prova verdade quanto mais próximos do 0 maior o índice de solos sem cobertura vegetal.

Sua formula então é descrita como $NDVI = (NIR - VERMELHO) / (NIR + VERMELHO)$ proposta por Rouse et al. (1973), e se tornou um importante índice para a verificação das condições de vegetação.

3 METODOLOGIA

3.1 Coleta e análise de dados

Para a análise e determinação das áreas de queimadas e de áreas vulnerabilidade, serão utilizadas imagens que apresentem ausência de cobertura de nuvens, de estação seca, da cena 218/74, advindas dos sensores *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat 5 e *Enhanced Thematic Mapper* (ETM+) para Landsat 7, sendo necessária a correção através de mascaras, estes sensores possuem uma resolução espacial nominal de 30 metros e resolução temporal de 16 dias, e do sensor *Operational Land Imager* (OLI) para Landsat 8, também com resolução temporal de 16 dias e espacial nominal de 30 metros.

Foram utilizadas 36 imagens, com início no ano de 1985 ao ano de 2021, uma imagem por cada ano estudado, sendo essas disponibilizadas pelo *UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY* (USGS), onde foram selecionadas as imagens com as melhores condições dentro do espaço amostral do inverno no Hemisfério Sul, período mais suscetível a queimadas, e com ausência de nuvens sobre a área de estudo.

Foi criado um banco de dados no SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÕES GEOREFERENCIADAS (SPRING), disponibilizado pelo INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), onde houve a importação das imagens, para a utilização dentro do *software*.

Com a importação das imagens, foi realizado o contraste destas para uma composição colorida, sendo aplicado para as imagens obtidas pelo sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat 5 e *Enhanced Thematic Mapper* (ETM+) Landsat 7 nas bandas 3 azul, 4 verde e 5 vermelho, obtendo assim uma composição 3B4G5R.

O mesmo processo foi realizado para as imagens adquiridas do sensor *Operational Land Imager* (OLI) do satélite Landsat 8, contudo as bandas espectrais selecionadas foram as bandas 4 Azul, 5 verde e 6 vermelho, obtendo a composição 4B5G6R.

As imagens foram recortadas com as dimensões do PESRM e de ZA, e o mapeamento de áreas queimadas foi iniciado manualmente dentro das áreas, as imagens foram separadas anualmente para o acompanhamento e detecção de áreas de queimadas, sendo estas separadas em três distintas classes temáticas, o

primeiro grupo, denominado “PARQUE”, foram verificadas as queimadas que se apresentavam dentro do perímetro da unidade de conservação de 1985, momento anterior a criação do parque, ao ano de 2021, onde as áreas queimadas foram demarcadas e criado um polígono para cada detecção de área queimada.

O segundo grupo denominado “ZONA DE AMORTECIMENTO” teve como foco a zona de amortecimento do parque, por fim o terceiro grupo criado foi denominado “MINERAÇÃO”, e este focou no acompanhamento do crescimento das áreas utilizadas na zona de amortecimento da unidade de conservação.

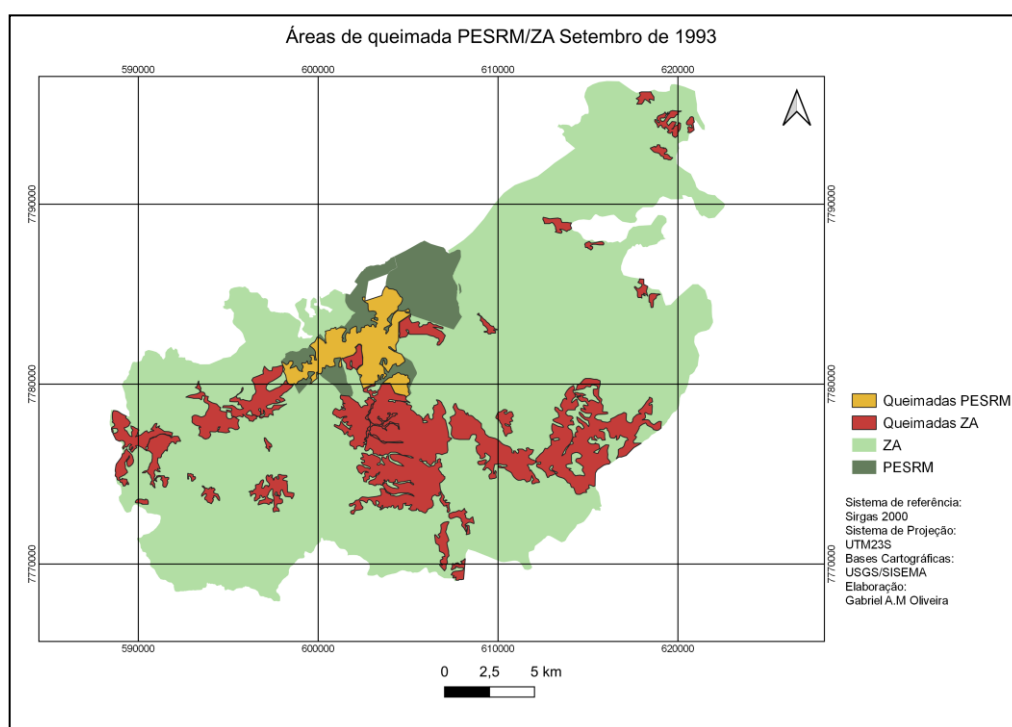
As imagens também foram utilizadas no software Qgis, programa de código aberto, onde através da calculadora de *raster*, foram utilizadas as imagens das bandas três e quatro do Landsat 5, e cinco e seis do Landsat 8. Através da calculadora de *raster* a formula $\text{NIR-Vermelho}/\text{NIR}+\text{Vermelho}$, onde NIR é o infravermelho próximo obtendo assim o índice NDVI.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As queimadas dentro do parque e sua zona de amortecimento foram acompanhadas ano a ano, e pôde ser detectado eventos de incêndios em quinze dos 36 anos monitorados para a área da zona de amortecimento da UC e em 10 dos 36 anos para a área da unidade de conservação.

O caso mais significativo ocorreu em 1993, quando um incêndio afetou uma área superior a 85 km² na época anterior à criação da unidade de conservação. Quando sobreposta à delimitação atual do PESRM e de sua Zona de Amortecimento (ZA), evidencia-se a magnitude do evento e seu potencial impacto sobre os ecossistemas locais, mostrada na **Figura 5**:

Figura 5: Áreas de queimada PESRM/ZA 1993



Fonte: USGS/SISEMA

A composição vegetal predominante, caracterizada por Campos Rupestres e Campos Limpos, apresenta elevada disponibilidade de biomassa quando não submetida a manejo adequado. Essa condição, associada à proximidade com áreas urbanizadas, intensifica a propagação de queimadas no bioma Cerrado. Nesse contexto, a zona de amortecimento (ZA) do parque atua como espaço crítico, uma vez que incêndios originados em áreas rurais ou mesmo ações antrópicas

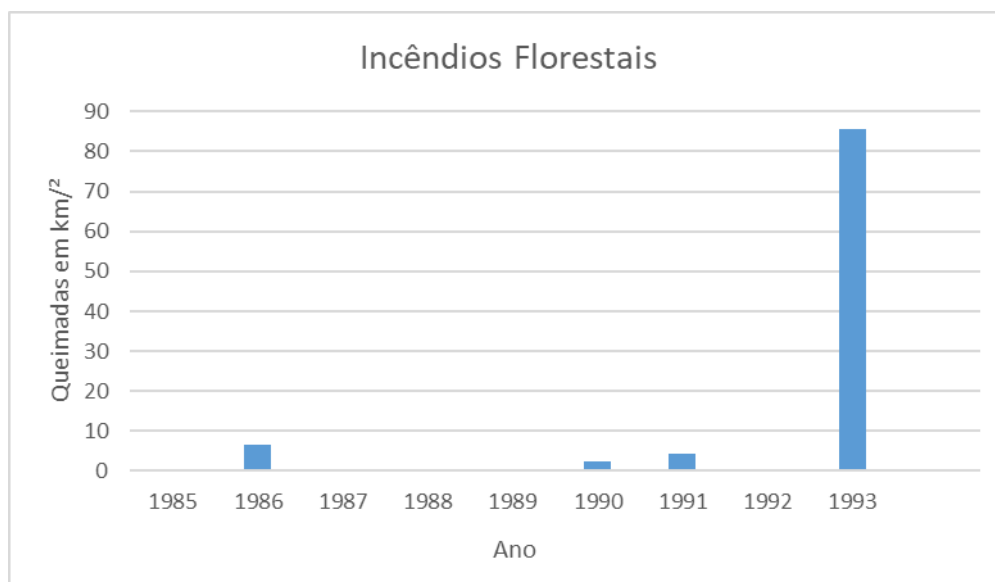
intencionais, como queimadas criminosas, encontram nas cidades do entorno um fator multiplicador de risco para a unidade de conservação.

O regime climático da região constitui outro elemento determinante na ocorrência de incêndios de grande proporção. Durante o inverno, período marcado pela redução acentuada dos índices pluviométricos, a vegetação apresenta baixos níveis de umidade, condição que potencializa a ignição e a disseminação do fogo, ampliando a vulnerabilidade do ecossistema.

Eventos de alta severidade, como o incêndio registrado em 1993, evidenciam as consequências de grande magnitude que ultrapassam a simples perda da cobertura vegetal. Nesses casos, a regeneração natural das áreas queimadas é significativamente comprometida, resultando em redução da disponibilidade de nutrientes, alteração da microbiota e impactos negativos sobre a dinâmica química do solo, fatores que afetam a resiliência e a funcionalidade ecológica do sistema.

A **Tabela 4** mostra os incêndios ocorridos no período de 1985 a 1993 na área estudada, bem como suas dimensões:

Tabela 4: Incêndios florestais na área de estudo

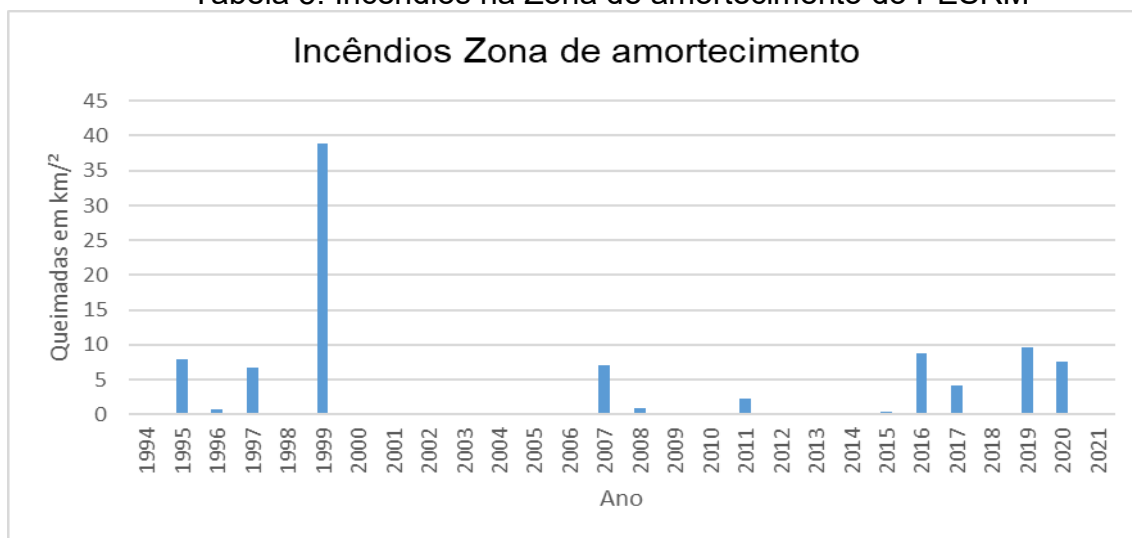


Fonte: AUTOR, 2023.

Não foi possível encontrar nenhuma periodicidade nos eventos de queimadas em momentos anteriores ao estabelecimento da unidade de conservação devido à baixa amostra de anos disponíveis para estudo em momentos anteriores a criação da UC.

No ano seguinte, 1994, é possível notar a ausência de queimadas, o que pode ser justificado pela queima de biomassa em excesso durante o grande incêndio em 1993, reduzindo assim o combustível disponível, o que pode ser verificado na **Tabela 5** abaixo.

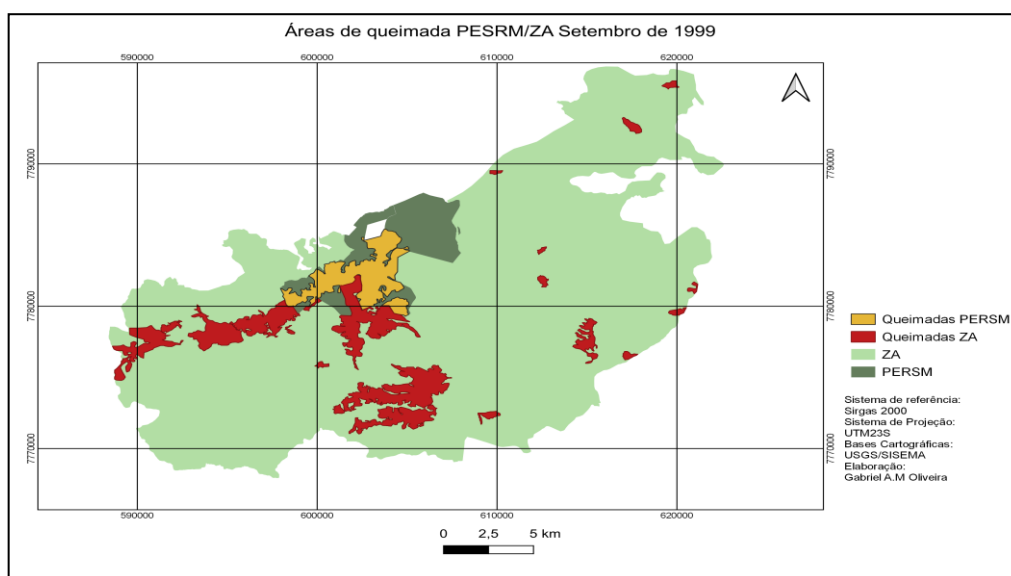
Tabela 5: Incêndios na Zona de amortecimento do PESRM



Fonte: AUTOR, 2023.

Pode ser aferido um grande incêndio ocorrido no ano de 1999, contudo, quando comparado com o ano de 1993 suas dimensões são menores, o que pode ser notado na **Figura 6**:

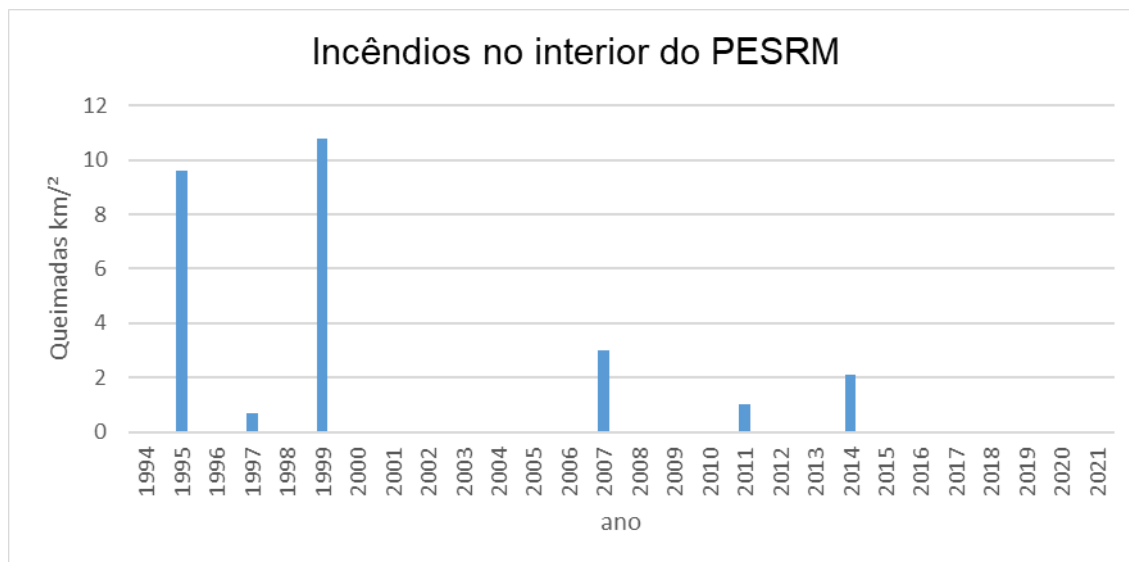
Figura 6: Áreas de queimada PESRM/ZA 1999



Fonte: Autor, 2023.

A **Tabela 6** apresenta os dados referentes a incêndios dentro da área do PESRM.

Tabela 6: Incêndios no interior do PESRM

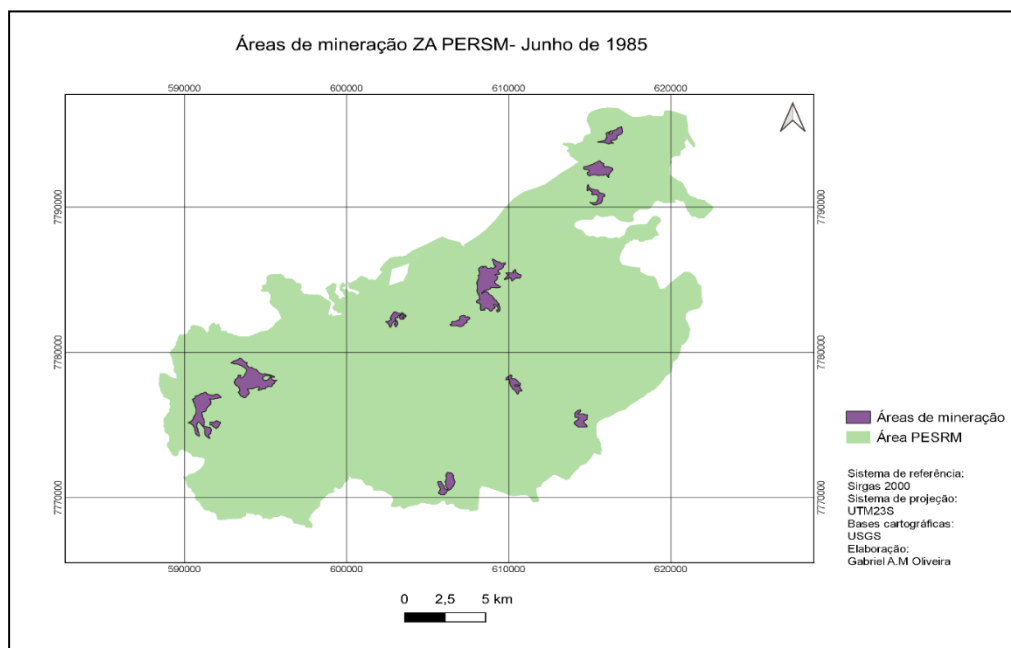


Fonte: AUTOR, 2023.

A análise comparativa entre os registros de queimadas na zona de amortecimento e no interior da unidade de conservação evidencia uma maior frequência desses eventos na área de entorno. Tal constatação reforça a função estratégica da zona de amortecimento na mitigação de impactos nocivos sobre a UC, uma vez que absorve parcela significativa dos danos decorrentes dos incêndios. Entretanto, esse quadro também revela um aspecto crítico: por se tratar majoritariamente de áreas privadas, inseridas em um contexto rural, o uso do fogo como prática de manejo ainda é recorrente, ilustrando, ao mesmo tempo, o potencial e as limitações da ZA como mecanismo de proteção complementar às unidades de conservação.

O rápido crescimento das minas é evidente no acompanhamento anual, que adentram novas áreas e estão frequentemente expandindo sua atividade, para o ano de 1985 foi constatado 13,64 km² de minas ativas na área que futuramente seria ocupado pela ZA do parque, o que pode ser visto na **Figura 7**:

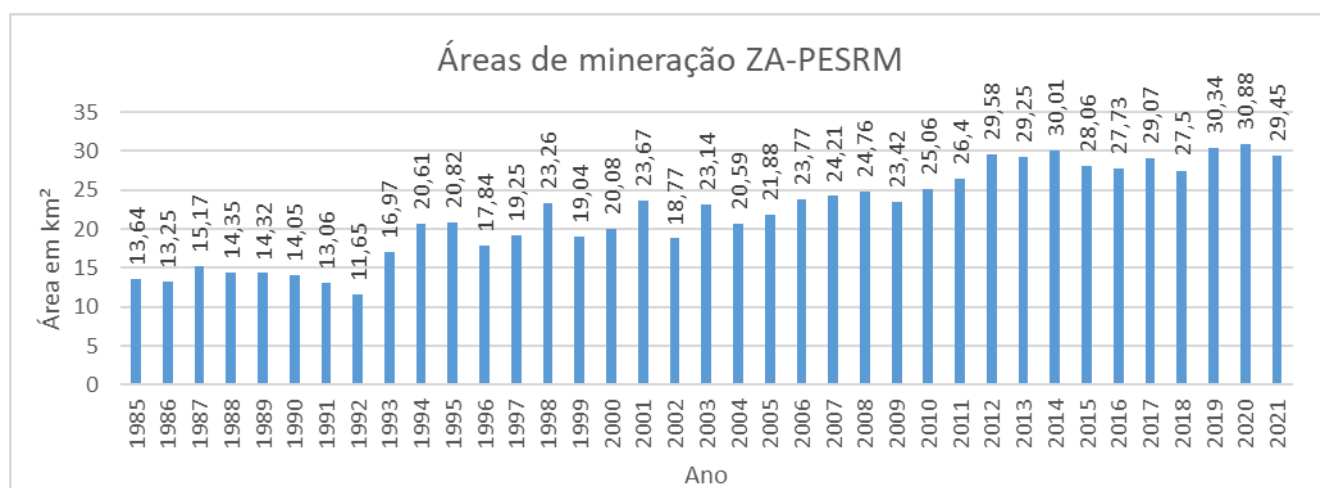
Figura 7: Áreas de mineração PESRM/ZA 1985



Fonte: Autor, 2023.

Em 1985, foram identificados 13,64 km² de áreas de mineração em atividade, período anterior à criação do parque. No momento de sua instituição, essas áreas já totalizavam 20,61 km², atingindo a marca de 29,45 km² em 2021, conforme demonstrado na **Tabela 7** abaixo:

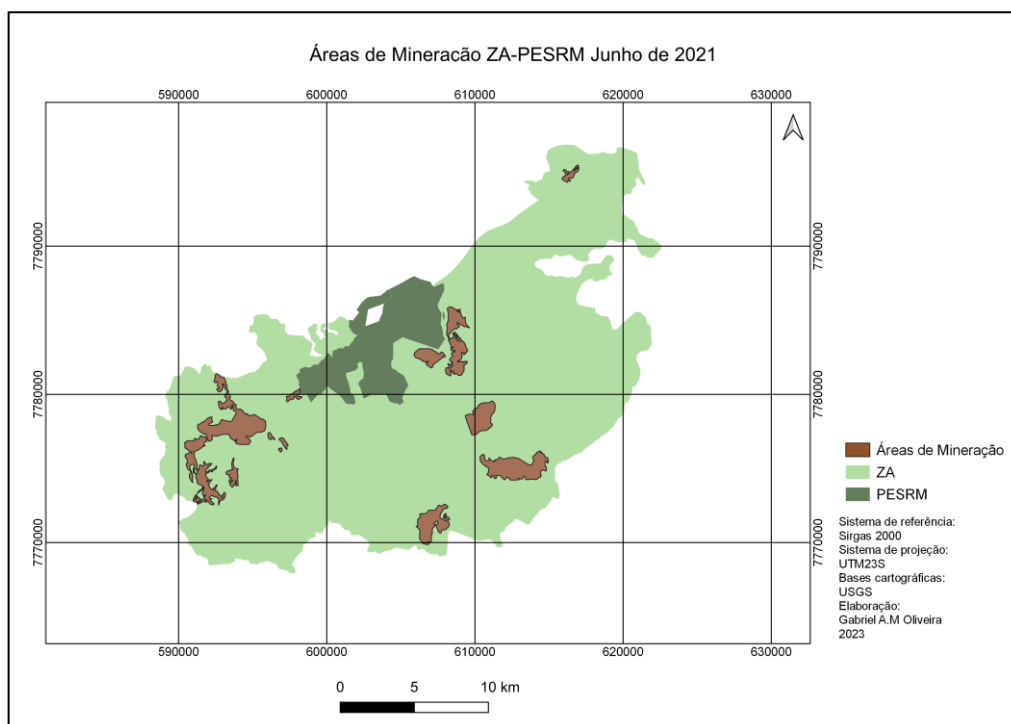
Tabela 7: Tamanho das áreas de mineração na zona de amortecimento



Fonte: Autor 2023.

A dimensão final da área de mineração, chegou a 29,45 km², e pode ser vista na **Figura 8** ilustrando a área total de minas na ZA do PESRM:

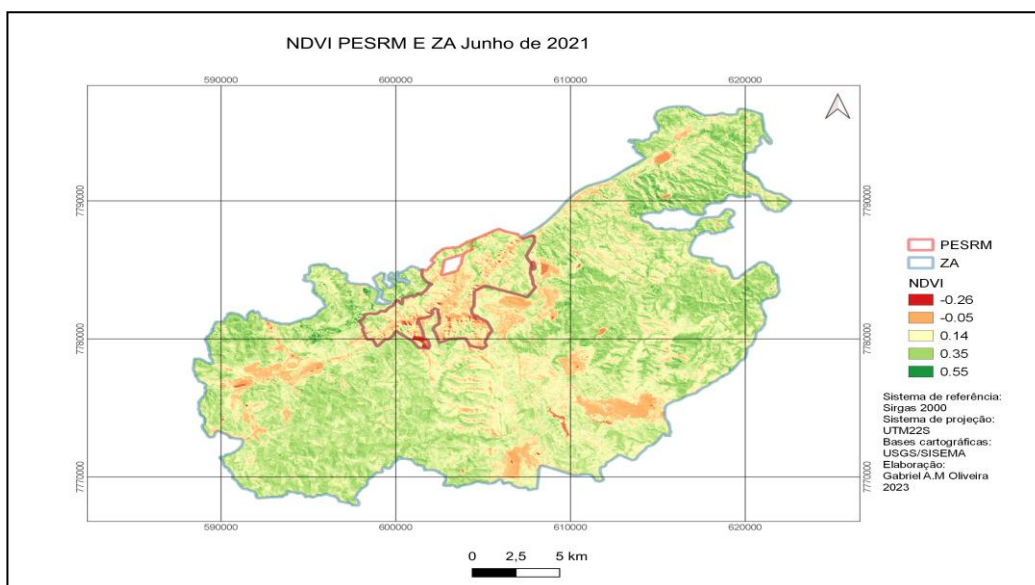
Figura 8: Áreas de mineração PERSM/ZA 2021



Fonte: Autor, 2023.

Através da análise dos resultados obtidos do índice NDVI, é possível aferir em áreas de mineração a existência de exposição do solo, devido a valores próximos a 0 estarem relacionados com solos expostos ou rochas, o que pode ser verificado na **Figura 9**:

Figura 9: NDVI PERSM/ZA 2021

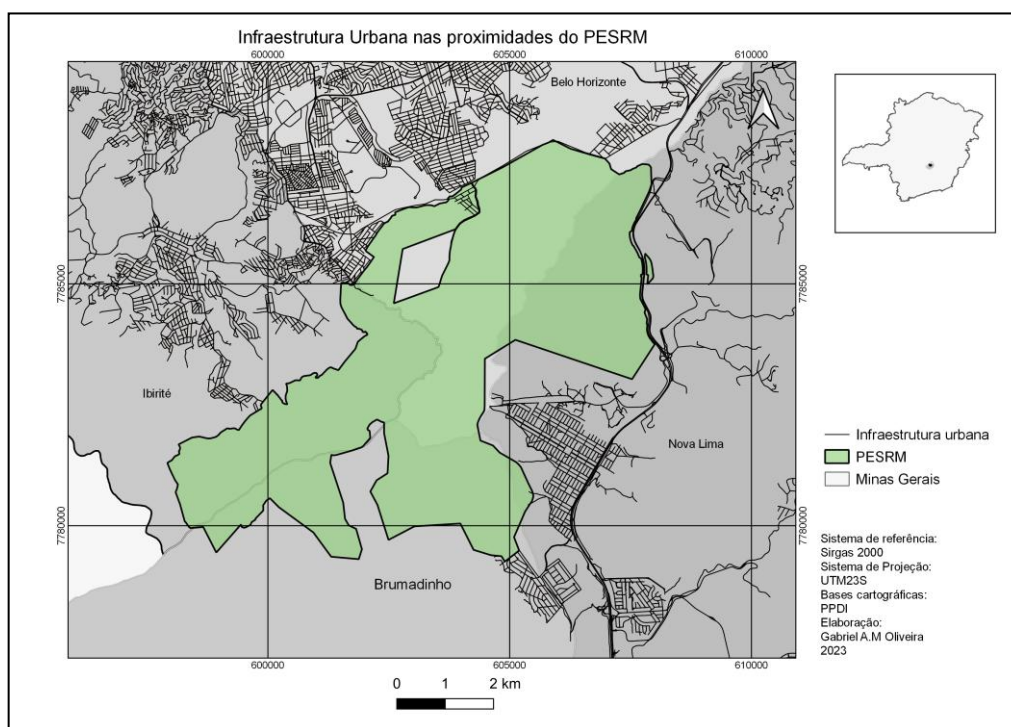


Fonte: Autor, 2023.

A análise da imagem evidencia que grande parte das feições presentes no PESRM apresenta baixa cobertura vegetal, aspecto corroborado pela literatura existente sobre a vegetação da unidade, caracterizada por extensas áreas de fisionomias abertas, como Campos Limpos e Campos Rupestres.

A intensa presença de habitações na porção norte do parque constitui um fator de preocupação. Isso se deve ao fato de que, quando da criação da unidade, em meados da década de 1990, a cidade de Belo Horizonte já se encontrava em processo acelerado de expansão urbana, inviabilizando a implementação de uma Zona de Amortecimento nessa região, situação que pode ser melhor visualizada na **Figura 10**:

Figura 10: Infraestrutura Urbana próxima ao PESRM



Fonte: Autor, 2023

Conforme visualizado na figura 10, a proximidade com áreas já urbanizadas inibiu a possibilidade de uma ZA na região Norte e Noroeste do PESRM, também pode ser verificado a presença de edificações dentro da área do PESRM, o que serve de ponto de pressão, e prejuízos advém dessa presença indevida, conforme já citado no texto, essa presença leva a perda de cobertura vegetal, abertura de vias de acesso, retirada de solo.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos evidenciam a relevância das Unidades de Conservação (UCs) e reforçam a importância da criação de zonas tampão, especialmente em áreas submetidas a pressões antrópicas intensas, como ocorre no Parque Estadual da Serra do Rola-Moça (PESRM), que interage diretamente com quatro municípios, incluindo o núcleo urbano de Belo Horizonte.

A implementação de zonas tampão constitui uma estratégia fundamental para mitigar os impactos adversos da atividade humana sobre a Unidade de Conservação. Essas áreas desempenham papel central na proteção da biodiversidade, na preservação de ecossistemas sensíveis e na promoção da sustentabilidade ambiental.

A presença de atividades de mineração na Zona de Amortecimento (ZA) do parque, apesar dos impactos evidentes — como perda de biodiversidade, alterações nos processos de carreamento de sedimentos e poluição ambiental e visual —, é parcialmente mitigada pelo instrumento de compensação ambiental previsto em lei. Os recursos provenientes dessa compensação contribuem para o pleno funcionamento do parque, garantindo suporte financeiro para a manutenção das operações e possibilitando futuras ampliações.

É relevante destacar que o repasse de recursos da compensação ambiental desempenha papel central na manutenção de forças-tarefa especializadas no combate a incêndios, como a Força-Tarefa Previncêndio. Esse mecanismo de financiamento, previsto no Decreto nº 45.960, de 02/05/2012, em seu artigo 13, estabelece a utilização de recursos de empresas privadas para implementação de ações e estratégias preventivas e de combate a incêndios em áreas protegidas.

A destinação desses recursos para a manutenção de forças-tarefa é fundamental para fortalecer a capacidade de resposta rápida e eficaz diante de eventos de fogo, contribuindo para a preservação do Parque Estadual da Serra do Rola-Moça (PESRM) e de suas áreas circunvizinhas. A Força-Tarefa Previncêndio, respaldada por esse financiamento, desempenha papel central na vigilância, prevenção e combate a incêndios florestais, constituindo um componente essencial da gestão ambiental.

Além disso, a previsão legal que regula a utilização desses recursos provenientes da compensação ambiental reflete um compromisso institucional com a

responsabilidade socioambiental das empresas privadas. Esse tipo de parceria promove a sinergia entre os setores público e privado, fortalecendo as ações de conservação e proteção ambiental.

Dessa forma, a integração do repasse da compensação ambiental na manutenção de forças-tarefa específicas para combate a incêndios constitui um exemplo concreto de como a legislação e a colaboração entre diferentes setores podem se traduzir em práticas efetivas para a preservação de áreas naturais e a promoção da sustentabilidade.

Observa-se também uma redução nos eventos de queimada, tanto na área da UC quanto em sua ZA, evidenciando a eficácia das boas práticas de manejo. Medidas como queimadas controladas de biomassa vegetal, corte em áreas de concentração e programas de conscientização ambiental constituem táticas valiosas para a prevenção e mitigação de incêndios florestais.

Apesar da redução na frequência de incêndios, estes ainda ocorrem no PESRM. O combate permanece como uma tarefa contínua, em função da interação entre fatores naturais e pressões antrópicas. Contudo, observa-se uma diminuição significativa na ocorrência desses eventos, resultado da atuação de unidades de resposta rápida, da execução eficaz do plano de manejo, de ações de conscientização da população, entre outros elementos que fortalecem a gestão ambiental.

O uso de ferramentas de geoprocessamento configura-se como recurso indispensável para o monitoramento contínuo das condições ambientais em Unidades de Conservação (UCs), desempenhando papel estratégico na gestão eficiente e na tomada de decisões voltadas à conservação, como exemplificado no Parque Estadual da Serra do Rola-Moça (PESRM).

Essas ferramentas permitem a análise integrada de dados espaciais, como imagens de satélite, informações topográficas e mapas temáticos, oferecendo uma visão abrangente das mudanças no ambiente ao longo do tempo. A capacidade de monitorar padrões de uso da terra, identificar áreas propensas a impactos antrópicos e avaliar as condições ecossistêmicas contribui significativamente para a formulação de estratégias de conservação mais eficazes.

Ao empregar técnicas de geoprocessamento, a gestão do PESRM pode realizar análises de vulnerabilidade, identificar áreas de maior risco, e direcionar esforços de conservação para locais prioritários. Além disso, a capacidade de

mapear mudanças na cobertura vegetal, detectar alterações nos padrões de queimadas e avaliar a conectividade entre diferentes ecossistemas possibilita uma abordagem proativa na preservação da biodiversidade.

A tomada de decisão embasada em dados geoespaciais não apenas fortalece a eficácia das medidas de conservação, mas também promove a transparência e a comunicação efetiva com as partes interessadas. A integração dessas ferramentas no processo decisório contribui para uma gestão adaptativa, permitindo ajustes contínuos com base em informações em tempo real.

O PESRM apesar das fortes pressões antrópicas, proximidade com o núcleo urbano de Belo Horizonte a nordeste, presença de minas ativas em sua ZA, condomínios em Brumadinho entre outros fatores antrópicos, apresenta condições favoráveis para a conservação ambiental, sendo essencial para a conservação dos Campos Ferruginosos.

A interação direta da UC com áreas urbanas enfatiza a necessidade de políticas e práticas de gestão eficazes que conciliem desenvolvimento humano e conservação ambiental. Parcerias entre governos, comunidades locais e organizações ambientais são fundamentais para viabilizar estratégias de conservação amplas e eficientes, reforçando o papel das UCs na manutenção da integridade ecológica e na proteção de serviços ecossistêmicos essenciais.

Embora o estudo contemple o período de 1985 a 2021, a amostragem temporal limitada pode subestimar a magnitude total das queimadas, uma vez que eventos adicionais podem não ter sido capturados pelas imagens utilizadas. Para aprimorar a confiabilidade dos resultados e obter uma compreensão mais abrangente dos padrões de queima, estudos futuros devem incorporar monitoramento mais detalhado ao longo do mesmo ano, aumentando a frequência de imagens e análises espaciais. Essa abordagem permitirá a identificação mais precisa das causas e efeitos das queimadas, subsidiando estratégias de manejo mais robustas e eficazes.

Para aprimorar a confiabilidade dos resultados e obter uma compreensão mais abrangente dos padrões de queimadas, sugere-se que estudos futuros incorporem um acompanhamento mais detalhado ao longo do mesmo ano. A inclusão de uma maior quantidade de imagens em períodos temporais específicos permitirá uma análise mais robusta e abrangente, fornecendo dados mais completos e representativos das dinâmicas de queimadas ao longo do tempo.

Dessa forma, os resultados desta pesquisa demonstram que a gestão integrada do Parque Estadual da Serra do Rola-Moça, alicerçada em instrumentos normativos, práticas consolidadas de manejo, monitoramento geoespacial e mecanismos de compensação ambiental, configura um modelo consistente de conservação. Tal abordagem mostra-se eficaz na mitigação de impactos antrópicos e naturais, na proteção da biodiversidade e na promoção da sustentabilidade ambiental em perspectiva de longo prazo. Ressalta-se, ainda, que a continuidade e o fortalecimento dessas estratégias, aliados à realização de investigações científicas mais aprofundadas, são indispensáveis para o avanço da gestão adaptativa e para a consolidação da efetiva preservação das unidades de conservação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano**. Brasília: ANA, 2021.
- ALENCAR, A.; MOUTINHO, P.; ARRUDA, V.; SILVÉRIO, D. **Amazônia em chamas: o fogo e o desmatamento em 2019 e o que vem em 2020**. Nota Técnica nº 3. Brasília: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2020. Disponível em: <https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2020/04/NT3-Fogo-em-2019.pdf>. Acesso em: 13 set. 2025.
- AQUINO, F. de G.; MIRANDA, G. H. B. de. **Consequências ambientais da fragmentação de habitats no Cerrado**. In: SANO, S. M. *et al.* Cerrado: ecologia e flora. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 384-410.
- BENJAMIN, A. H. **Introdução à lei do sistema nacional de unidades de conservação**. In: BENJAMIN, A. H. (Coord.). Direito ambiental das áreas protegidas: o regime jurídico das unidades de conservação. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2001. p. 276-316.
- BENTO-GONÇALVES, A.; LEITE, F.; VIEIRA, A. **Frequência, intensidade e severidade: três conceitos-chave no estudo dos incêndios florestais**. 2019.
- BOND, W. J.; VAN WILGEN, B. Fire and plants. **London**: Chapman & Hall, 1996. (Population and Community Biology Series).
- BRASIL. **Lei nº 10.312, de 12 de novembro de 1990**. Dispõe sobre a prevenção e o combate a incêndio florestal e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 1990.
- BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2000.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.
- COFFIN, A. W. From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. **Journal of Transport Geography**, v. 15, n. 5, p. 396-406, 2007.
- COUTINHO, L. M. **Ecological effect of fire in Brazilian Cerrado**. In: HUNTLEY, B. J.; WALKER, B. H. (Eds.). Ecology of tropical savannas. Heidelberg: Springer-Verlag, 1982. p. 273-291. (Ecological Studies, 42).
- DIEGUES, A. C. **O mito moderno da natureza intocada**. São Paulo: Hucitec, 2001.
- ENRÍQUEZ, M. A. R. S. **Maldição ou dádiva? Os dilemas do desenvolvimento sustentável a partir de uma base mineira**. 2007. Tese (Doutorado em

Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

FREIRE, S.; CARRÃO, H. e CAETANO, M.R. **Produção de Cartografia de Risco de Incêndio Florestal com Recurso a Imagens de Satélite e Dados Auxiliares**. Lisboa: Instituto Geográfico Português, 2004.

GOLDAMMER, J. G. **Incêndios florestais**: prevenção, controle e uso do fogo. Curitiba: [s.n.], 1982.

HEIKKILÄ, T. V.; GRÖNQVIST, R.; JURVÉLIUS, M. **Wildland fire management**: handbook for trainers. Helsinki: Ministry for Foreign Affairs of Finland, 2007.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTA (MG). **Plano de manejo do Parque Estadual da Serra do Rola Moça, incluindo a Estação Ecológica de Fechos**. Encartes 1, 2, 3 e 4. 2007.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS (MG). **Diretoria de Unidades de Conservação - DIUC**. Gerência de Compensação Ambiental e Regularização - GCARF. Plano Operativo Anual – Exercício 2021. Belo Horizonte, 2021.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução de José Carlos Neves Epiphanyo *et al.* São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.

KLINK, C. A.; MOREIRA, A. G. **Past and current human occupation and land-use**. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Eds.). *The Cerrado of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. New York: Columbia University Press, 2002, p. 69-88.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. da. **Recursos hídricos do Bioma Cerrado: importância e situação**. In: SANO, S. M. et al. *Cerrado: ecologia e flora*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 89-105.

LORENZETTI, M. S. B.; ARAÚJO, S. M. V. G. de. **Política urbana e habitacional**. In: GANEM, R. S. et al. *Políticas setoriais e meio ambiente*. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2015. p. 211-235.

MINAS GERAIS. **Decreto-lei nº 1.119, de 14 de julho de 1944**. Dispõe sobre parques florestais. Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais, 1944.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 5.831, de 6 de julho de 1960**. Aprova o Regulamento do Parque Estadual do Rio Doce. Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais, 1960.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 21.372, de 1º de julho de 1981**. Define como de interesse especial, para proteção de mananciais, terrenos situados na bacia hidrográfica do Córrego Mutuca, município de Nova Lima. Belo Horizonte: Governo

do Estado de Minas Gerais, 1981.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 21.724, de 23 de novembro de 1981**. Aprova o Regulamento dos Parques Estaduais. Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais, 1981.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 22.109, de 14 de junho de 1982**. Define como de interesse especial, para proteção de mananciais, terrenos situados no município de Ibirité. Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais, 1982.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 22.110, de 14 de junho de 1982**. Define como de interesse especial, para proteção de mananciais, terrenos situados na bacia hidrográfica do Sistema Bálsamo - Rola Moça, município de Ibirité. Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais, 1982.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 22.092, de 8 de julho de 1982**. Define como área de proteção especial, para preservação permanente e proteção de mananciais, terrenos localizados na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Catarina. Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais, 1982.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 36.071, de 27 de setembro de 1994**. Dispõe sobre a criação do Parque Estadual do Rola Moça. Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais, 1994.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (Brasil). **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas**: Cerrado. Brasília: MMA, 2011.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado**. In: SANO, S. M. *et al.* Cerrado: ecologia e flora. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 153-212.

ROESER, H. M. P.; ROESER, P. A. O Quadrilátero Ferrífero - MG, Brasil: aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados. **Revista Geonomos**, v. 18, n. 1, p. 33-37, 2010.

ROUSE, J. W., Jr.; HAAS, R. H.; DEERING, D. W.; SCHELL, J. A. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Progress Report RSC 1978-2, 1973.

RYLANDS, A. B.; BRANDON, K. U. Unidades de conservação brasileiras. **Megadiversidade**, v. 1, p. 27-35, 2005.

SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SCHAEFER, C. E. et al. **Solos desenvolvidos sobre canga ferruginosa no Brasil**:

uma revisão crítica e papel ecológico de termiteiros. In: CARMO, F. F. do; KAMINO, L. H. Y. **Geossistemas ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015. p. 77-102.

SCHUMACHER, M. V.; DICK, G. **Incêndios florestais**. 3. ed. Santa Maria: UFSM, CCR, Departamento de Ciências Florestais, 2018.

SETZER, Alberto W.; FERREIRA, Nelson J. **Queimadas e Incêndios Florestais: Mediante Monitoramento Orbital**. Porto Alegre: Oficina de Texto, 2025. *E-book*. pág.35. ISBN 9786586235463.

SISEMA. **Infraestrutura de dados espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Belo Horizonte: IDE-Sisema, 2021. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br>.

SILVEIRA, C. E. M. da. **Dano ambiental e gestão do risco**: atualidades em jurisdição e políticas públicas. Caxias do Sul, RS: Educus, 2016.

SOUZA, F. C. R.; CARMO, F. F. **Geossistemas ferruginosos no Brasil**. In: CARMO, F. F. do; KAMINO, L. H. Y. **Geossistemas ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015. p. 47-76.

TROPMAIR, H. **Biogeografia e Meio Ambiente**. 3ª ed. Rio Claro: Impress Graff, 1989.

UEZU, A.; CULLEN Jr., L. **Da fragmentação florestal à restauração da paisagem: aliando conhecimento científico e oportunidades legais para a conservação**. In: PAESE, A.; UEZU, A.; LORINI, M. L.; CUNHA, A. (Orgs.). **Conservação da biodiversidade com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

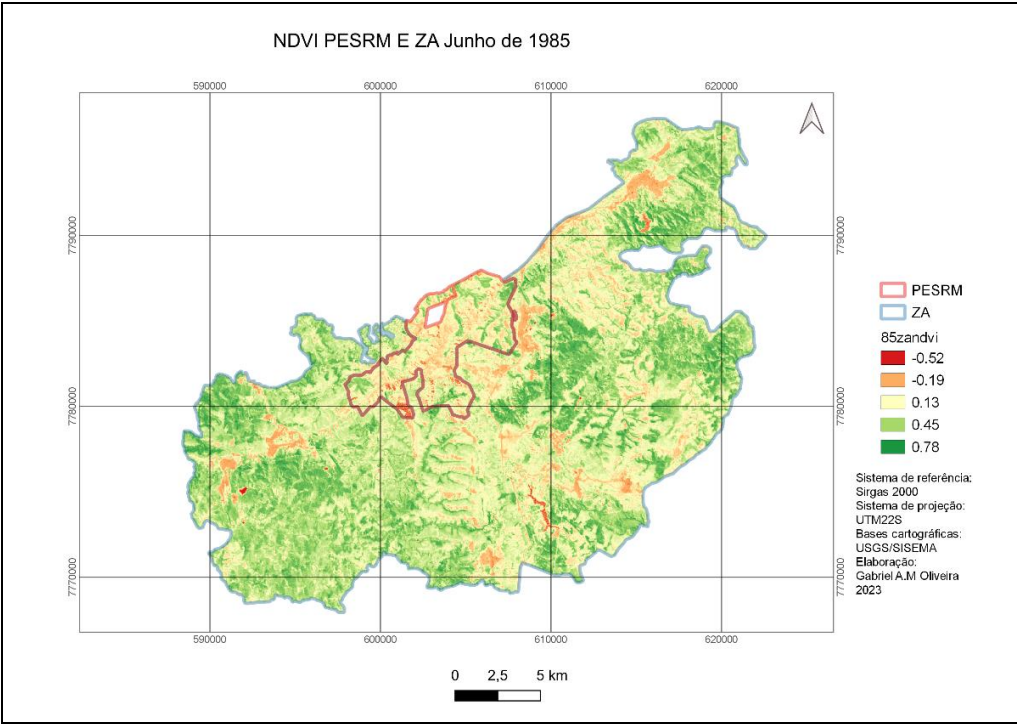
VIANA, M. B. **Panorama do setor mineral**: legislação e impactos socioambientais. In: GANEM, R. S. et al. **Políticas setoriais e meio ambiente**. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2015.

VIO, A. P. de A. **Direito ambiental das áreas protegidas**: o regime jurídico das unidades de conservação. Coord. Antônio Herman Benjamin. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2001.

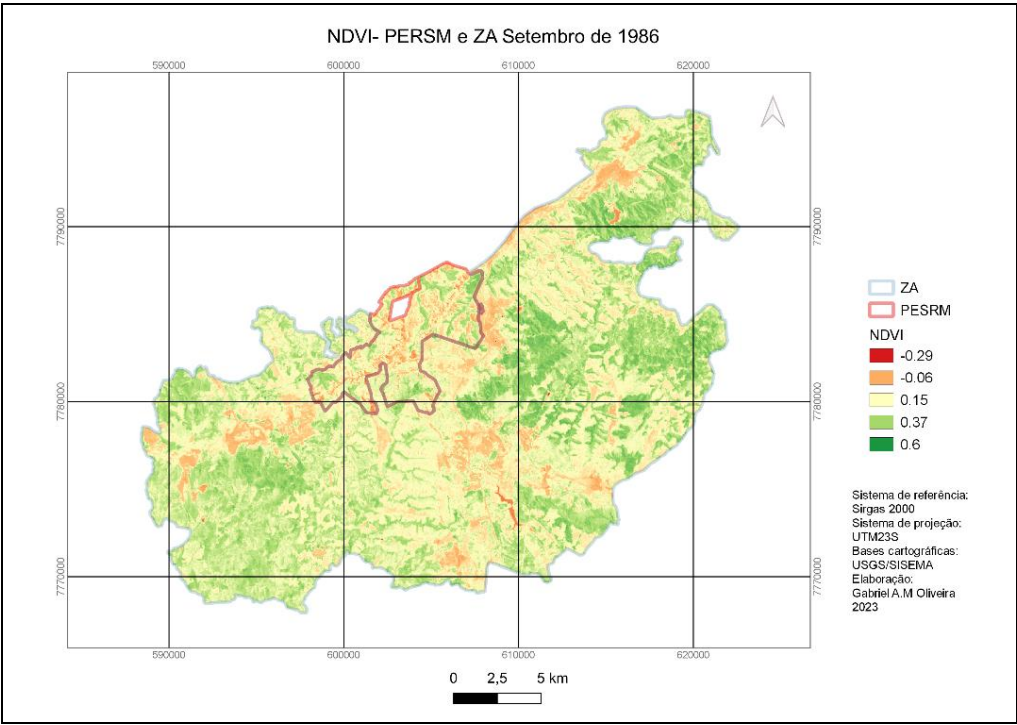
WORBOYS, G. L. et al. (Eds.). **Protected area governance and management**. Canberra, Austrália: ANU Press, 2015.

WWF BRASIL. **Mata Atlântica**. Disponível em: https://www.wwf.org.br/nossosconteudos/biomas/mata_atlantica/. Acesso em: 13 set. 2025.

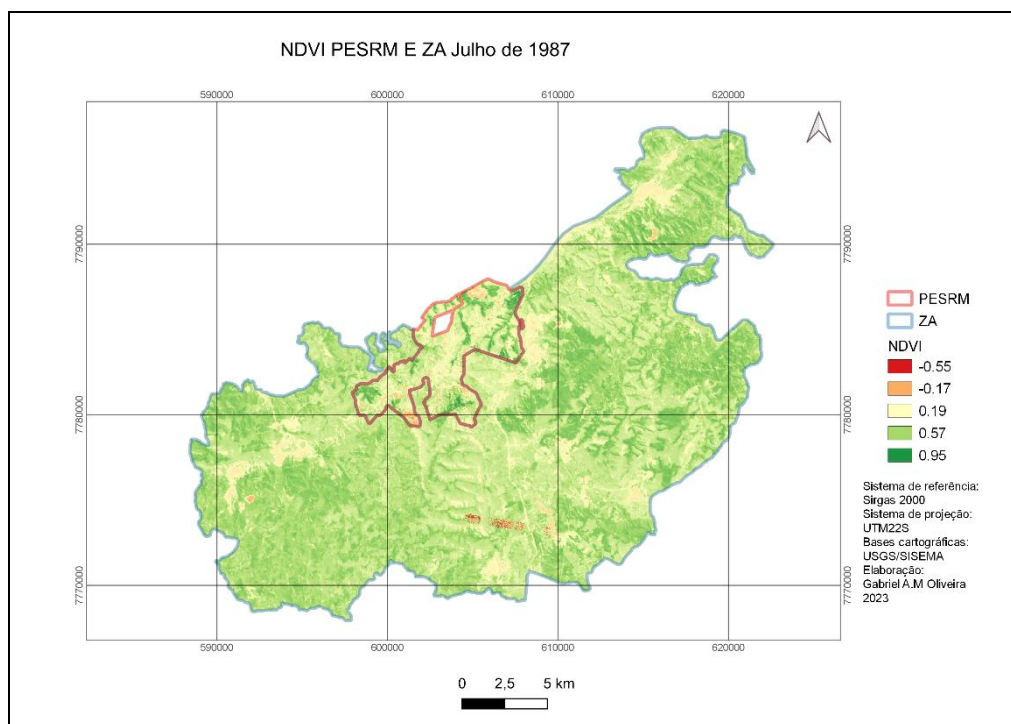
Apêndice A NDVI PESRM/ZA julho de 1985



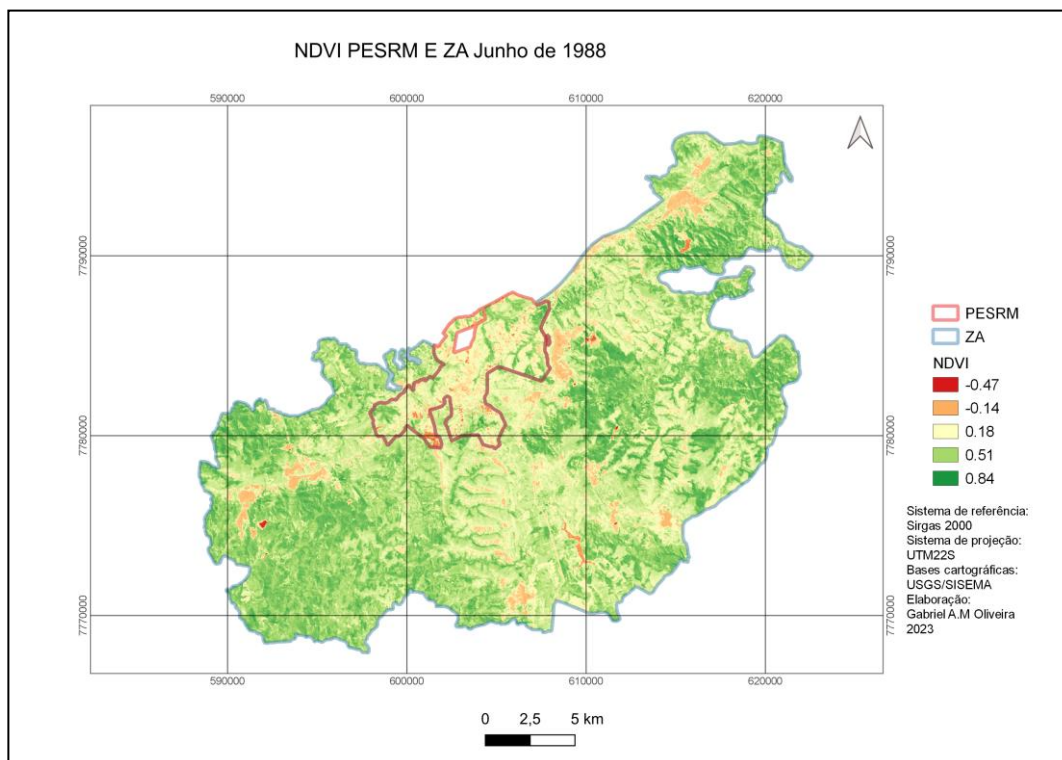
Apêndice B NDVI PESRM/ZA setembro de 1985



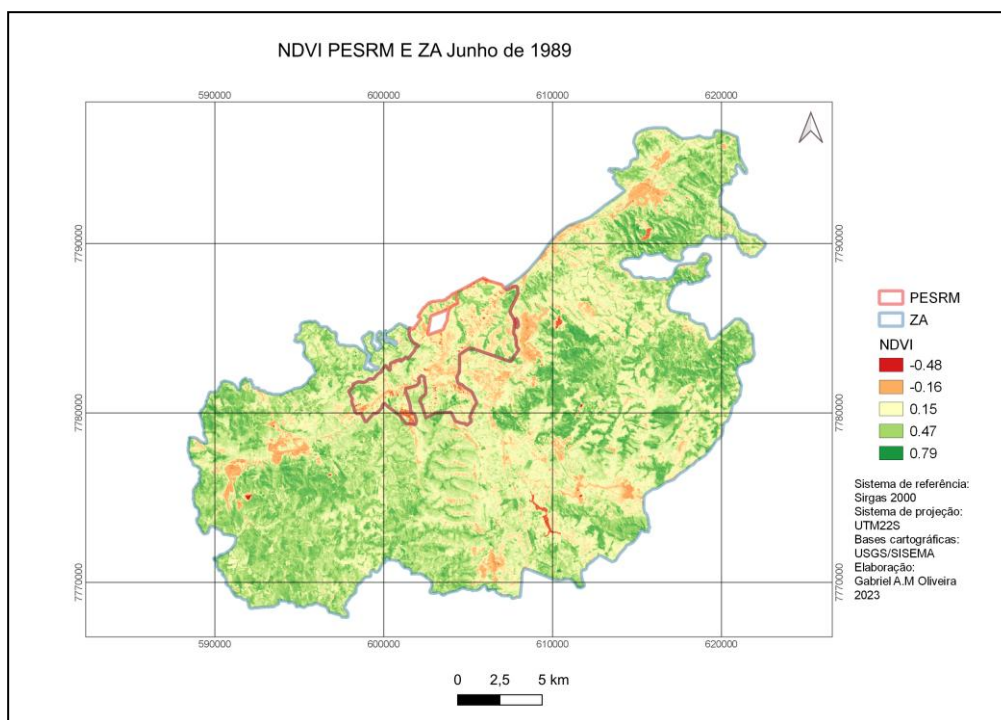
Apêndice C NDVI PESRM/ZA julho de 1987



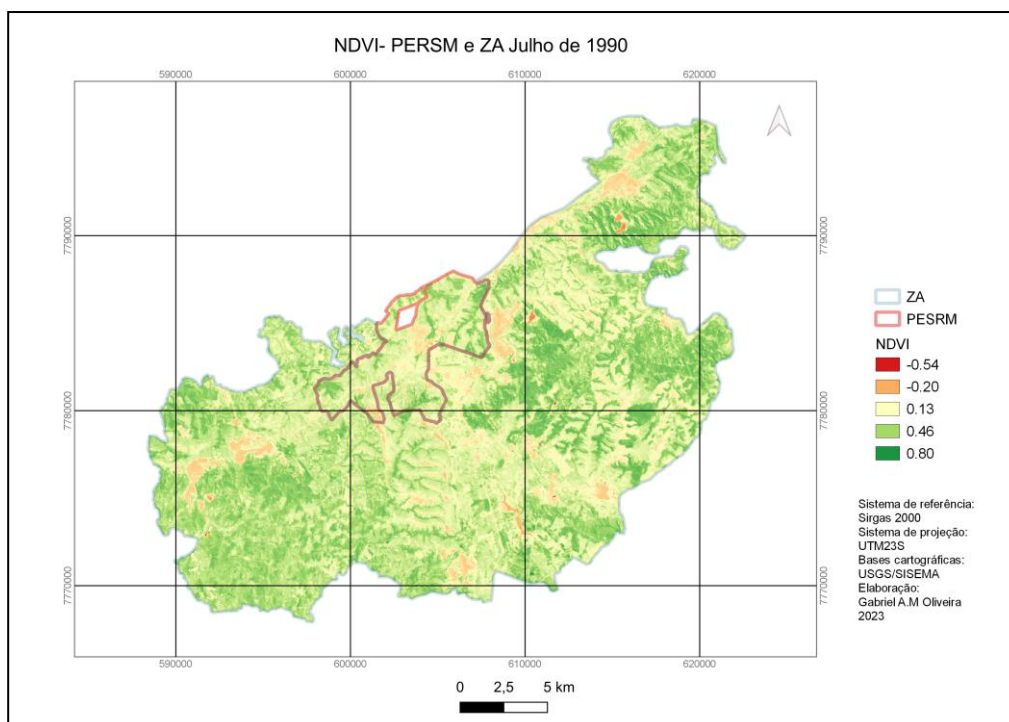
Apêndice D NDVI PESRM/ZA junho de 1988



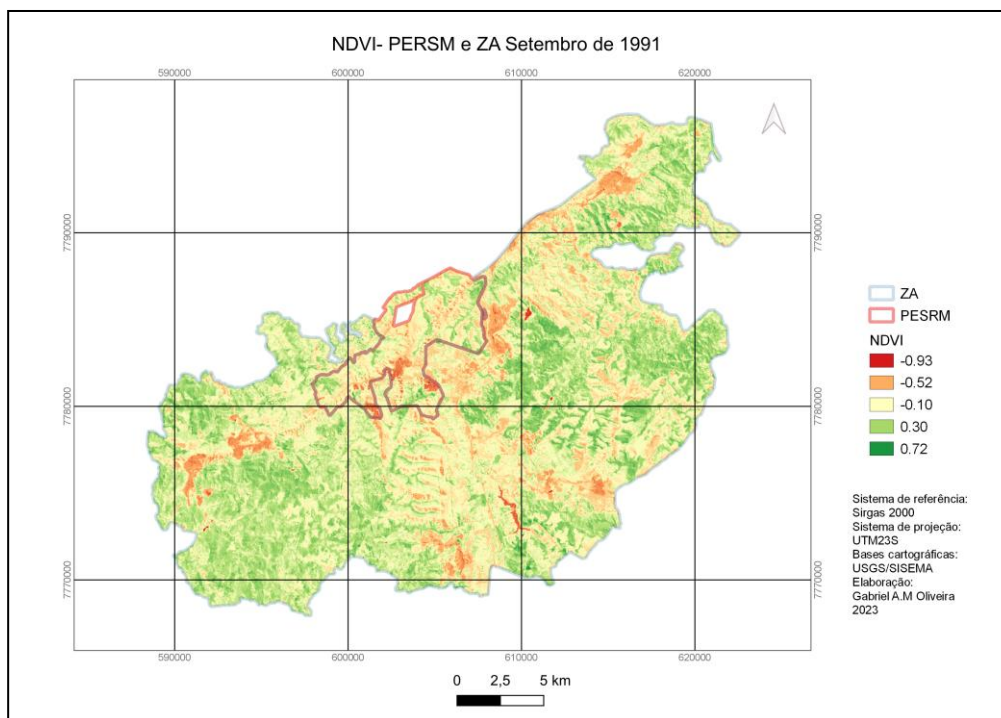
Apêndice E NDVI PESRM/ZA junho de 1989



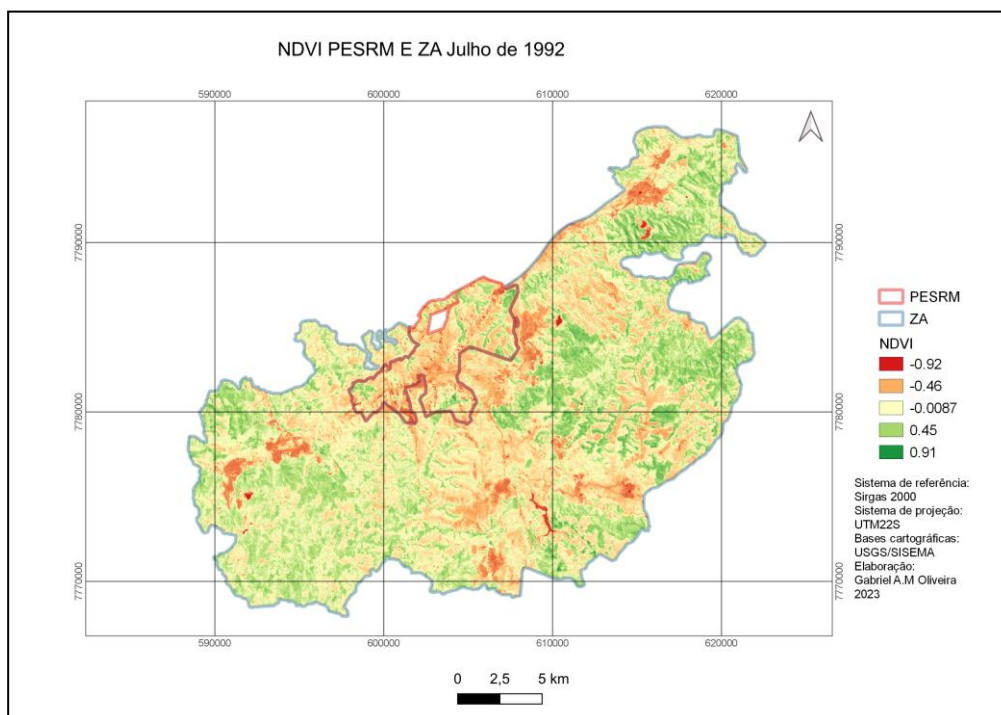
Apêndice F NDVI PESRM/ZA setembro de 1990



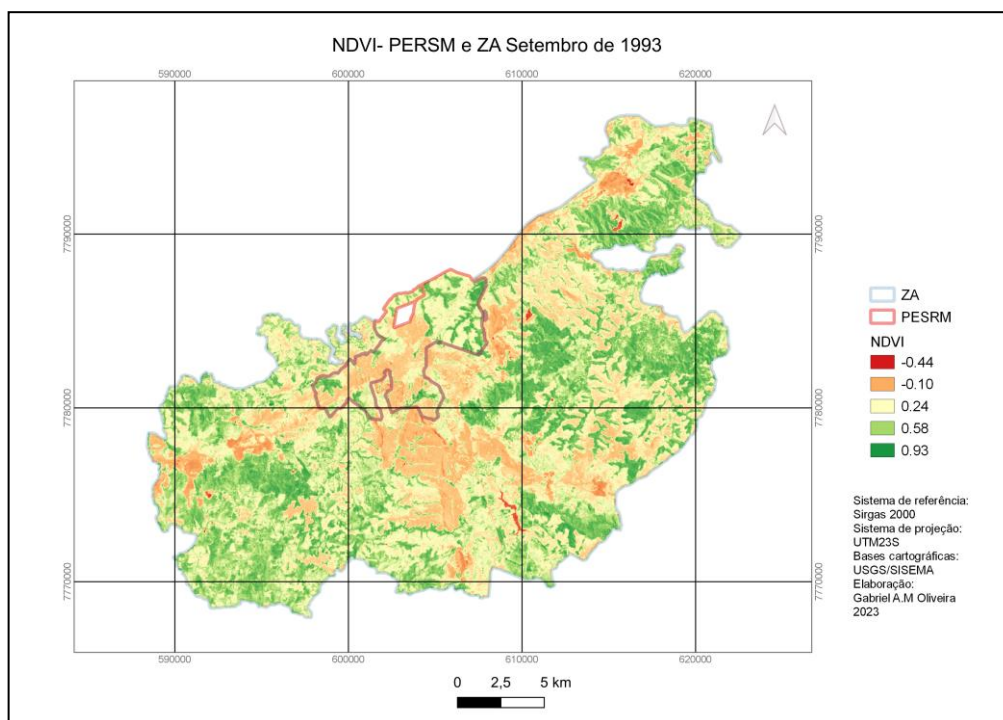
Apêndice G NDVI PESRM/ZA setembro de 1991



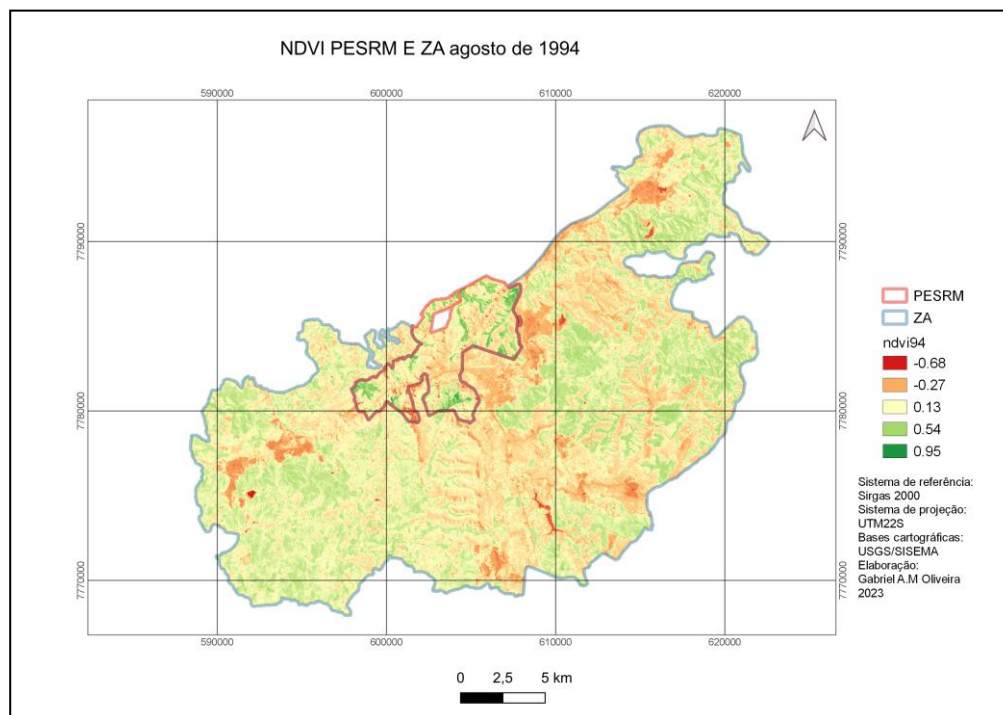
Apêndice H NDVI PESRM/ZA junho de 1992



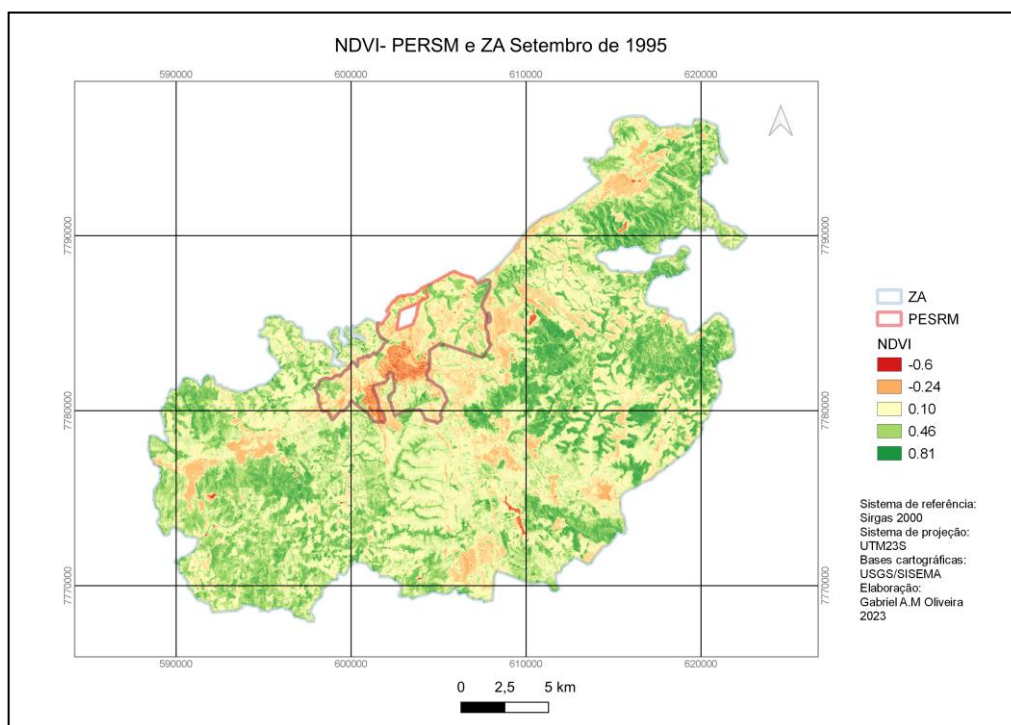
Apêndice I NDVI PESRM/ZA setembro de 1993



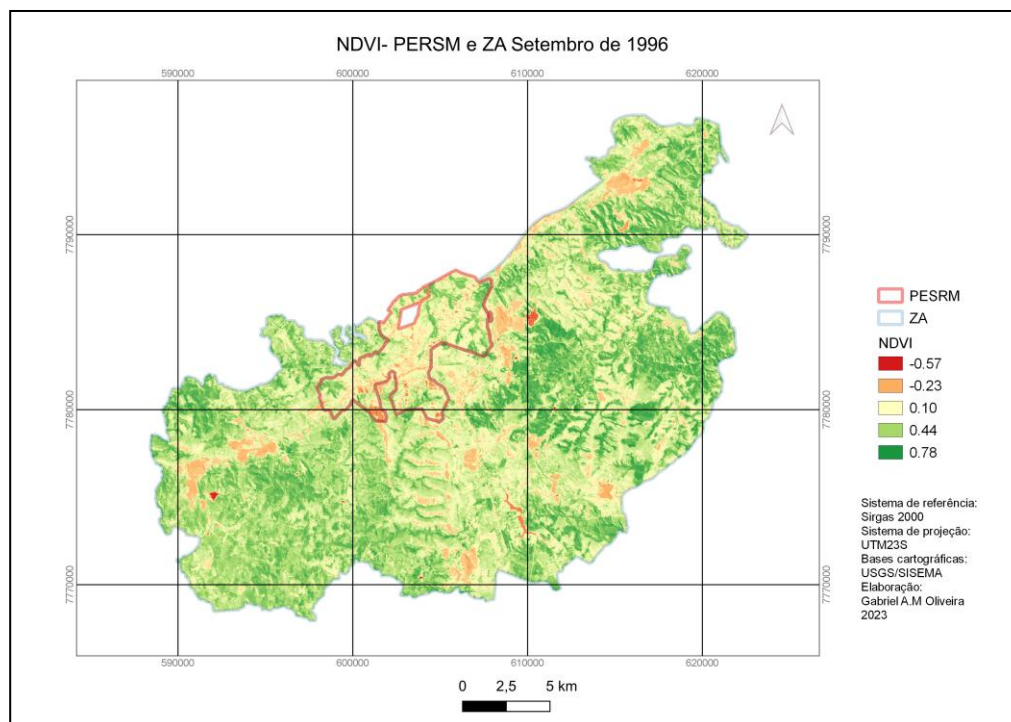
Apêndice J NDVI PESRM/ZA agosto de 1994



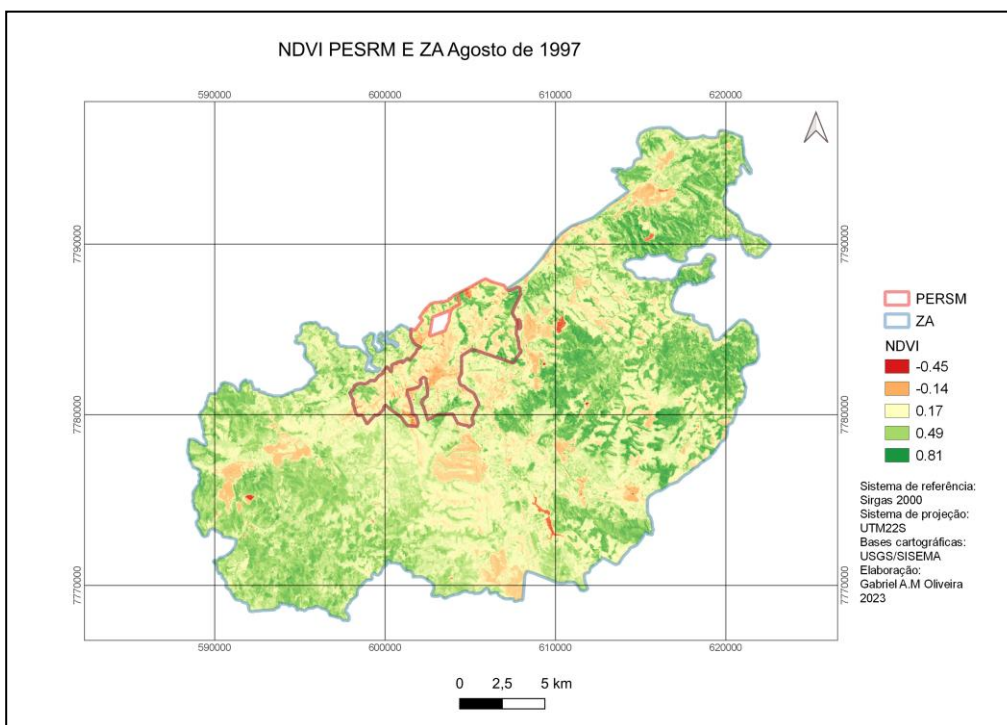
Apêndice K NDVI PESRM/ZA setembro de 1995



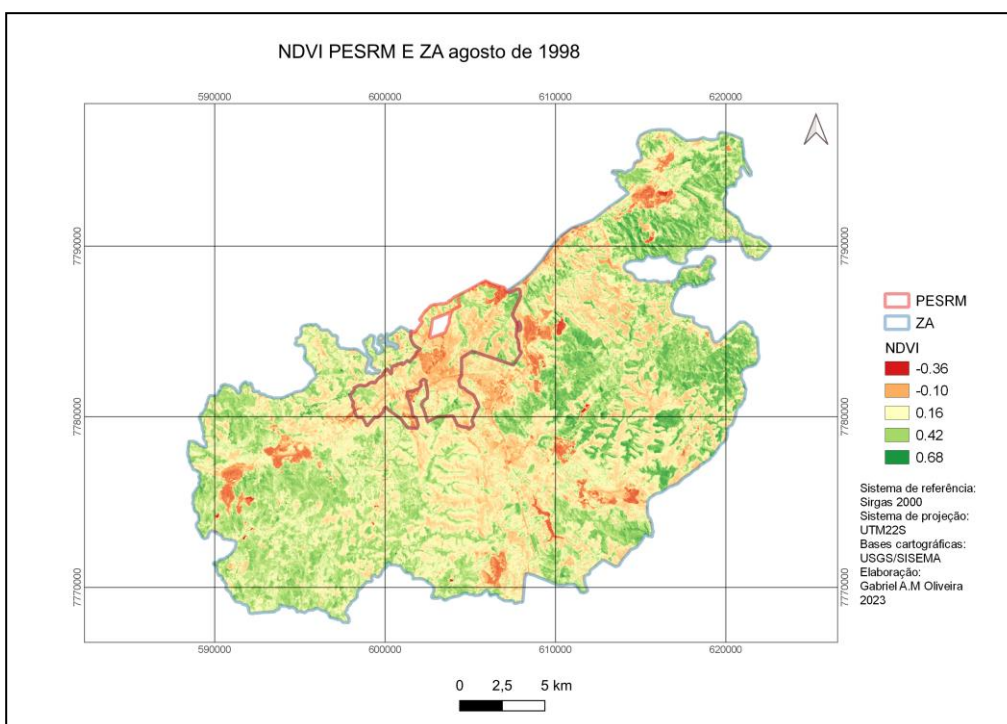
Apêndice L NDVI PESRM/ZA setembro de 1996



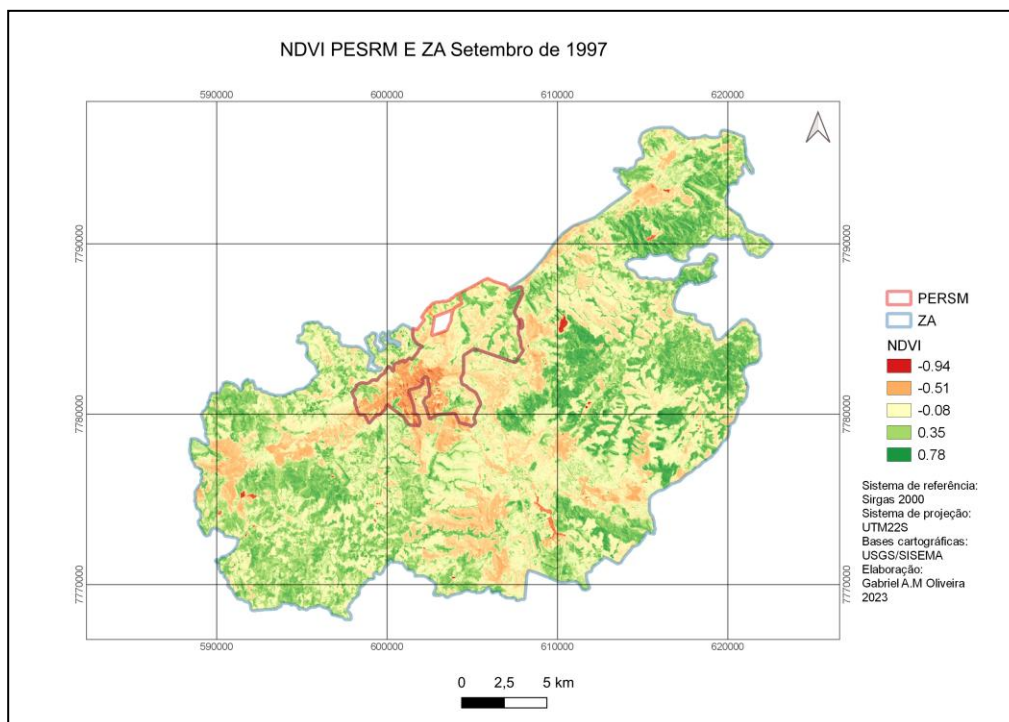
Apêndice M NDVI PESRM/ZA agosto de 1997



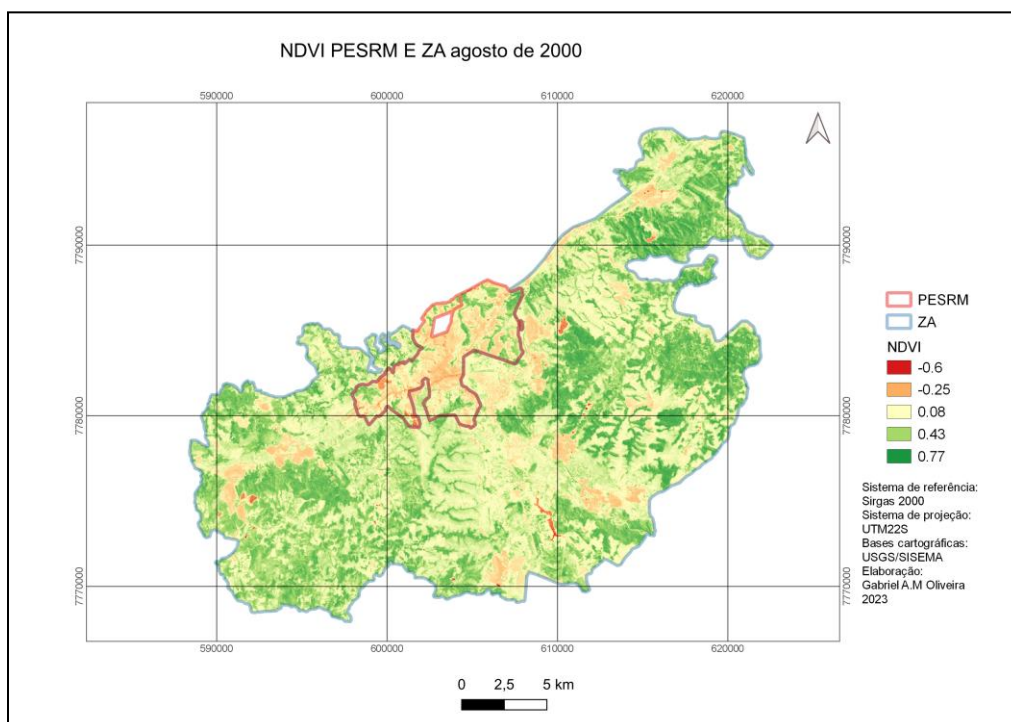
Apêndice N NDVI PESRM/ZA agosto de 1998



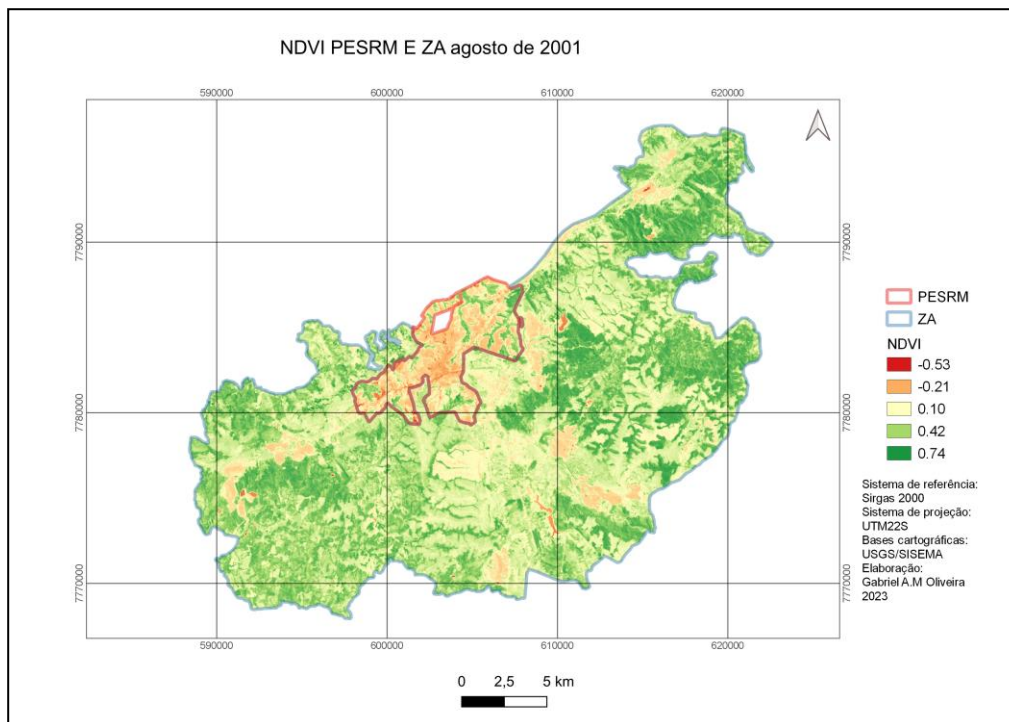
Apêndice O NDVI PESRM/ZA setembro de 1999



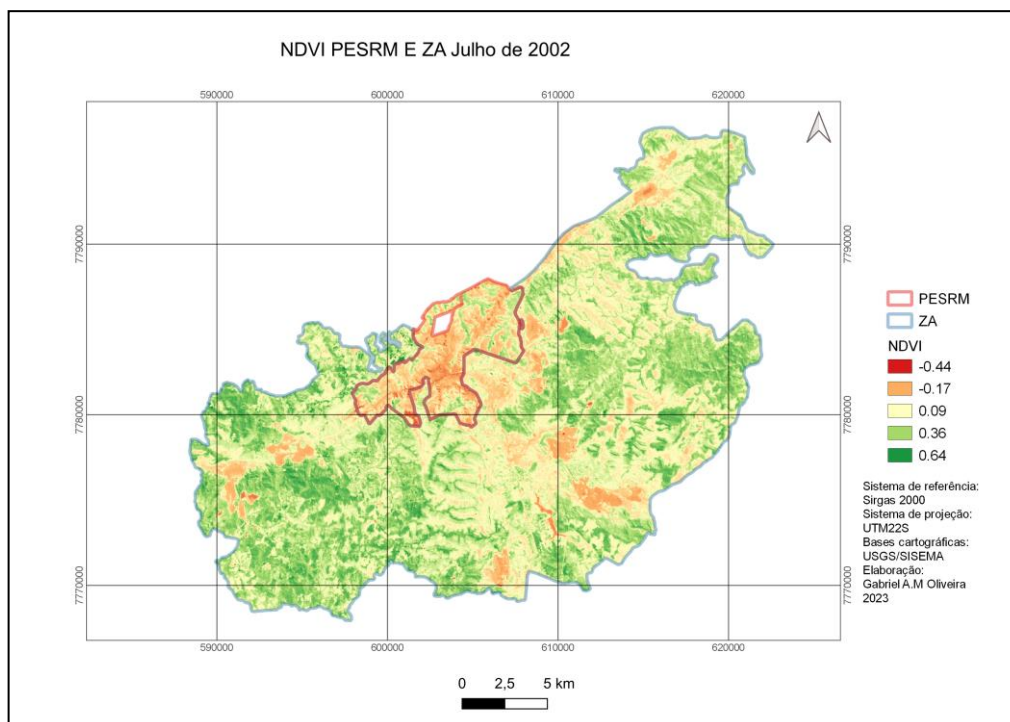
Apêndice P NDVI PESRM/ZA agosto de 2000



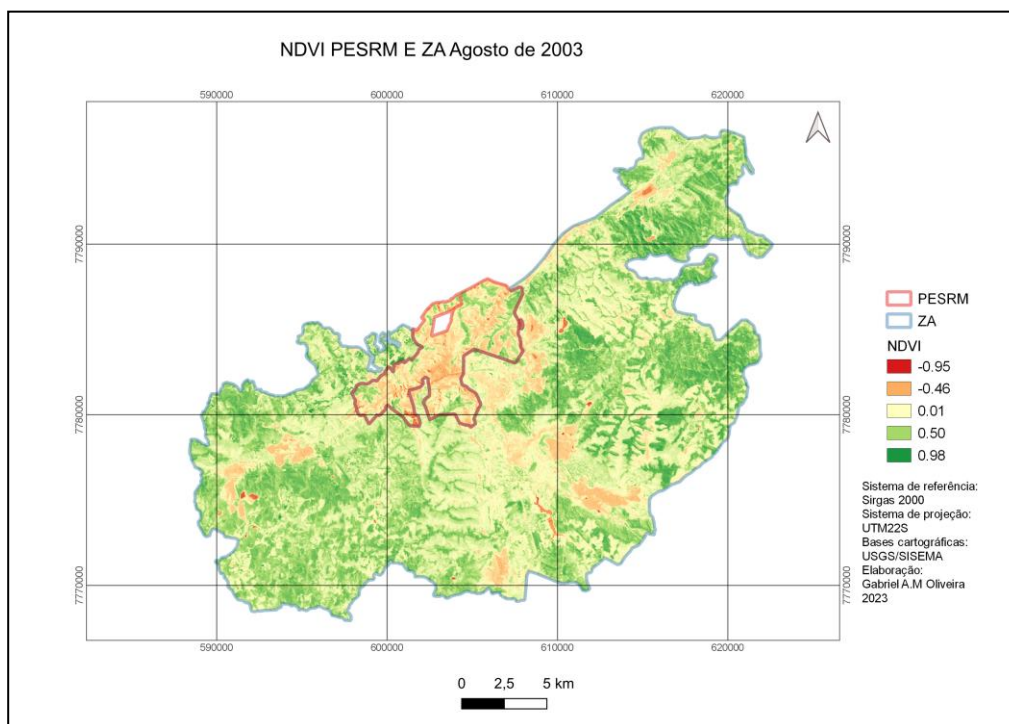
Apêndice Q NDVI PESRM/ZA agosto de 2001



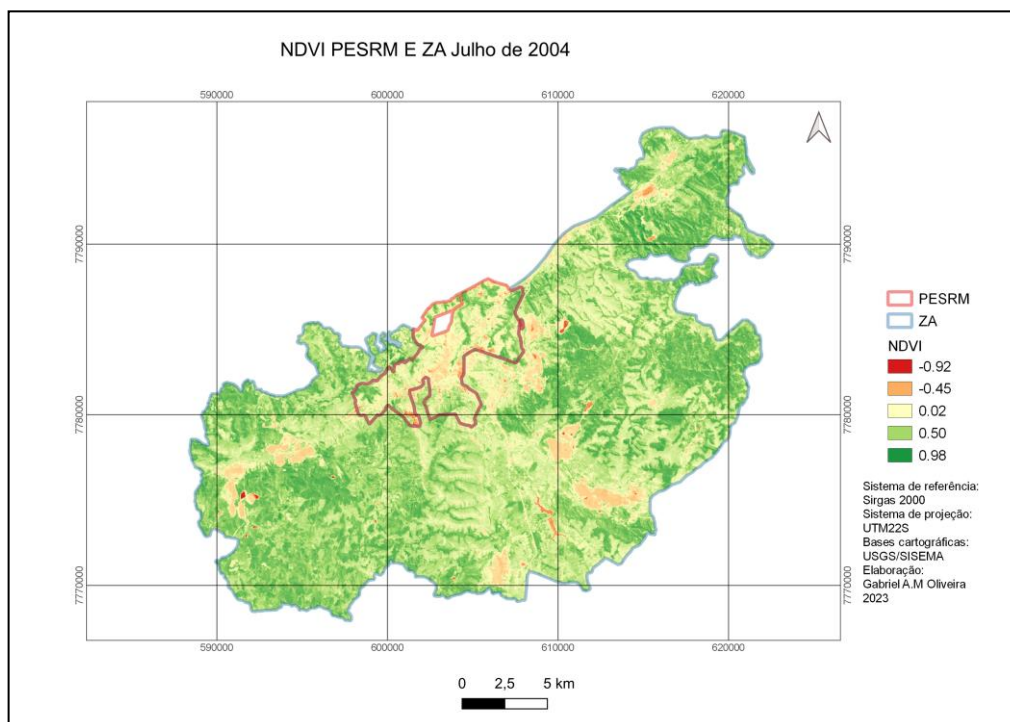
Apêndice R NDVI PESRM/ZA julho de 2002



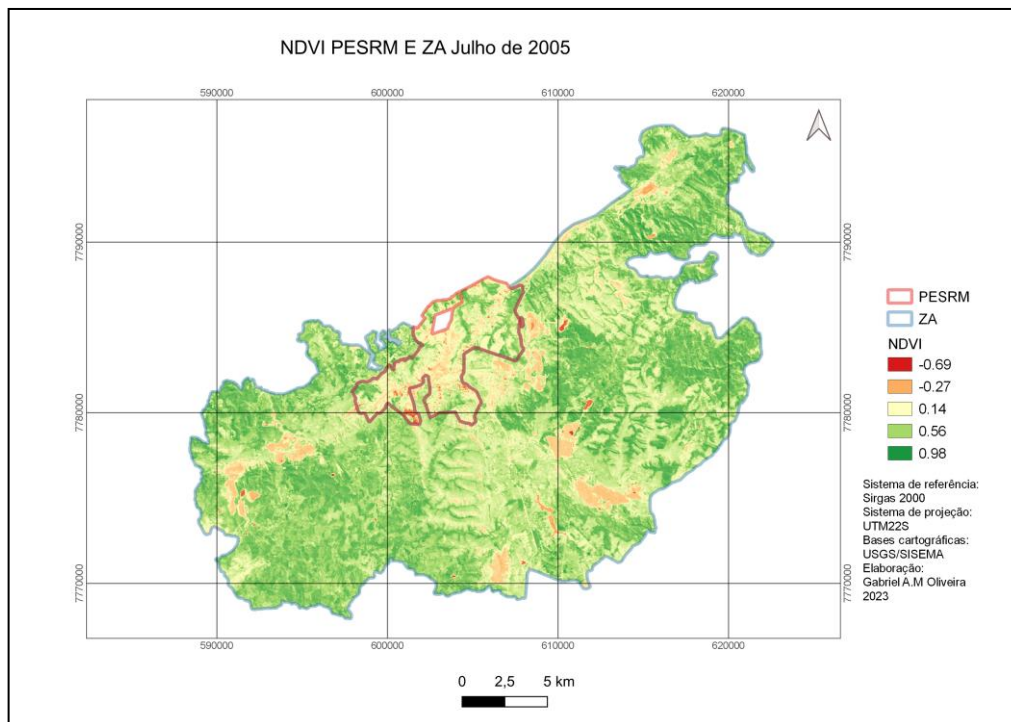
Apêndice S NDVI PESRM/ZA agosto de 2003



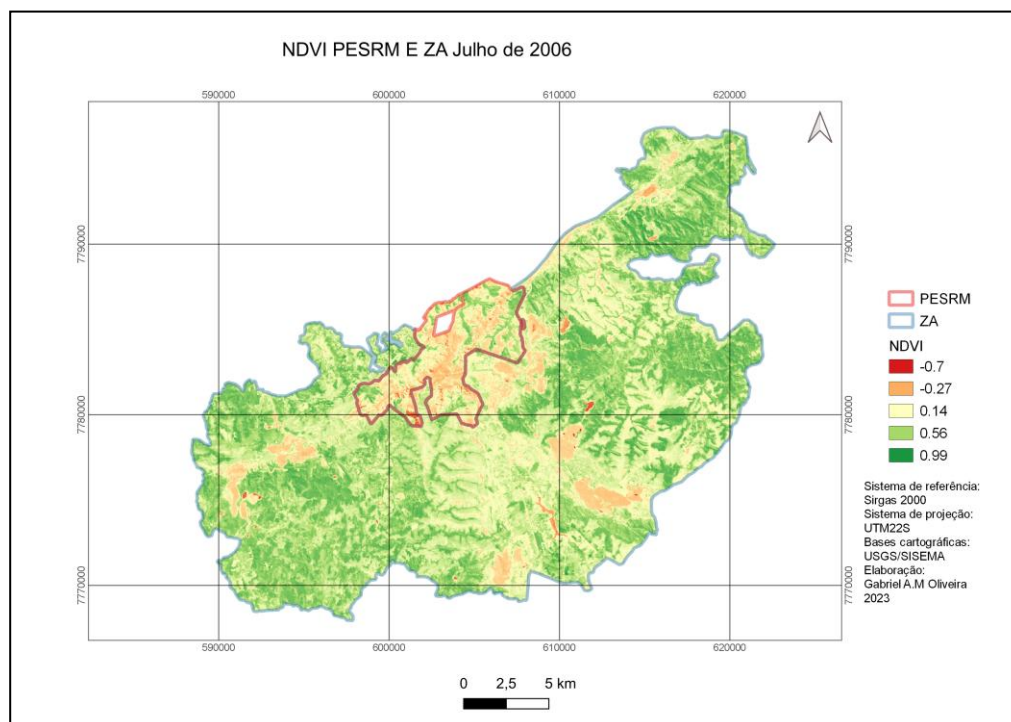
Apêndice T NDVI PESRM/ZA julho de 2004



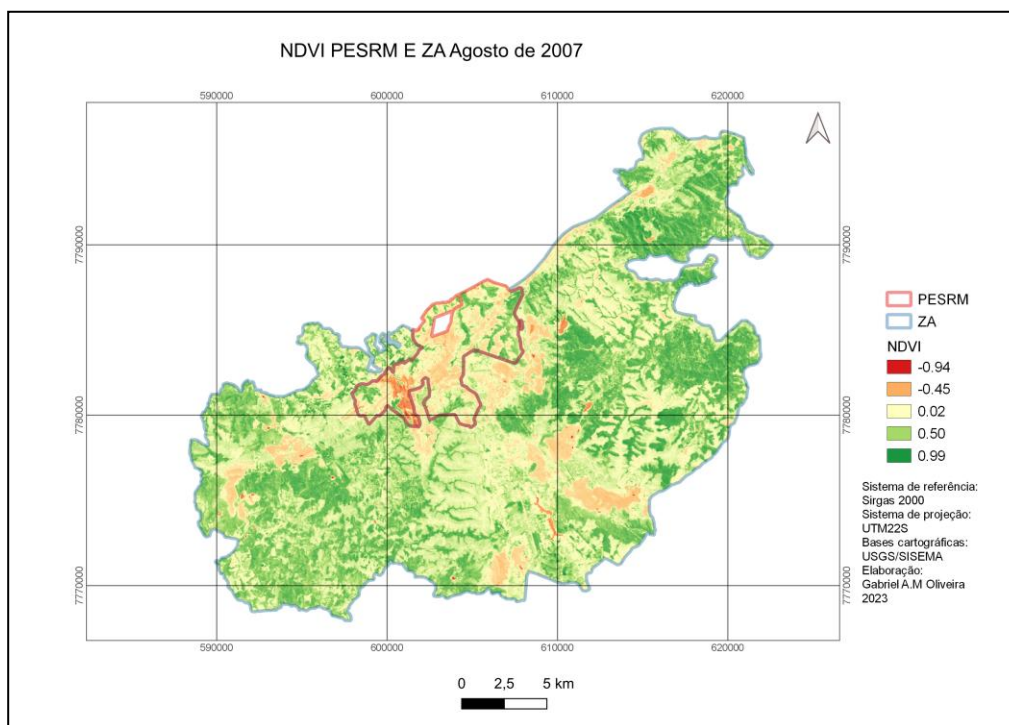
Apêndice U NDVI PESRM/ZA julho de 2005



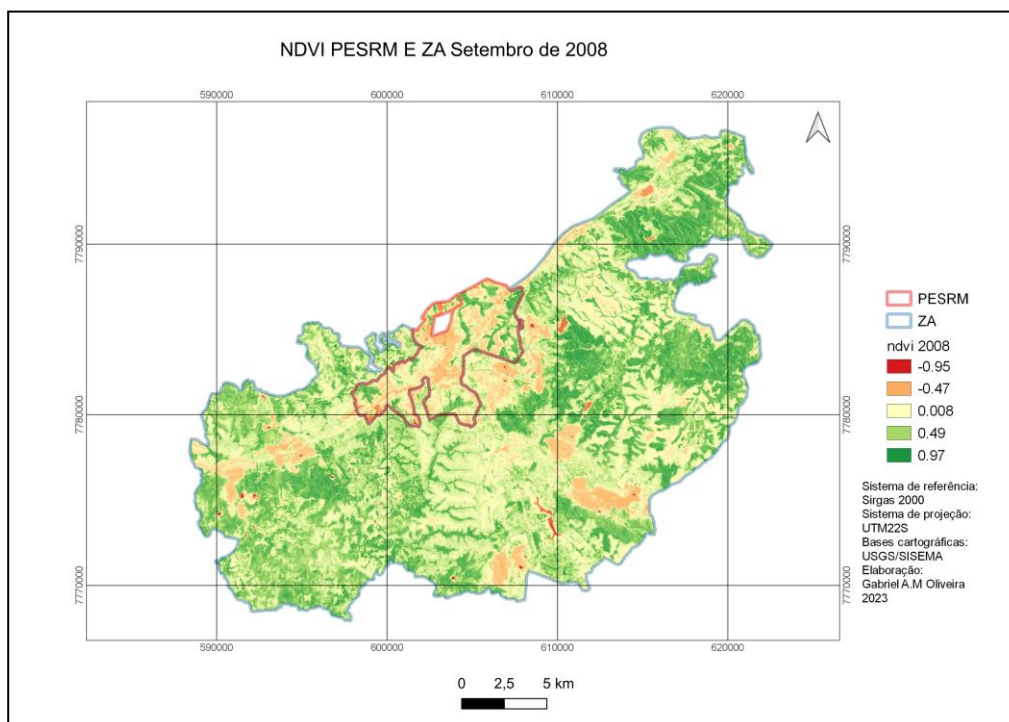
Apêndice V NDVI PESRM/ZA julho de 2006



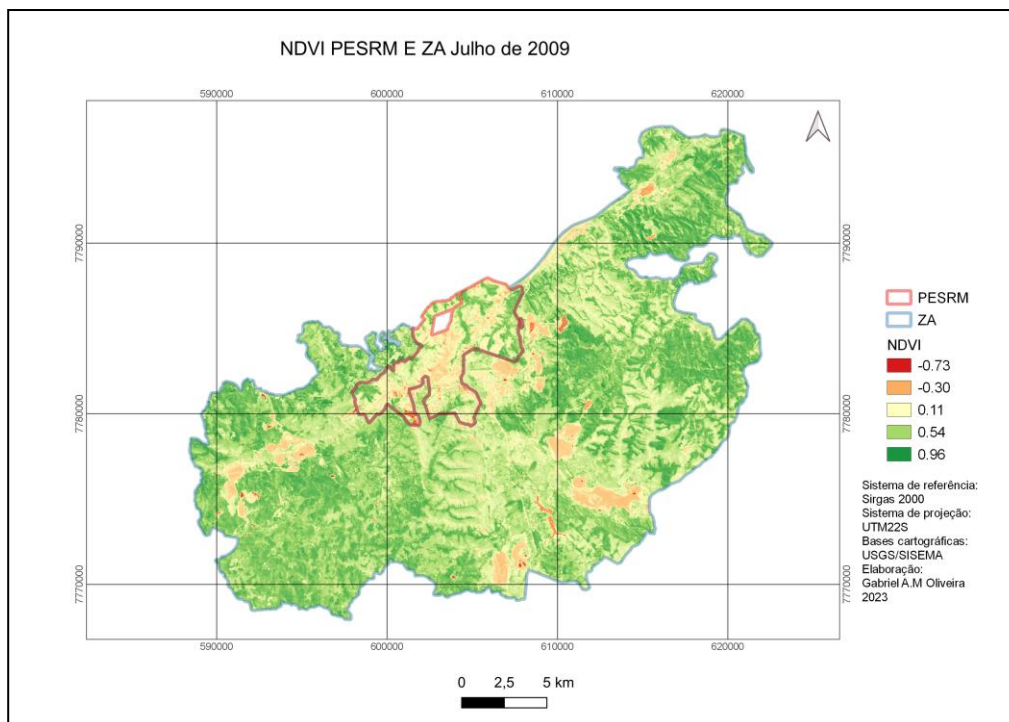
Apêndice W NDVI PESRM/ZA agosto de 2007



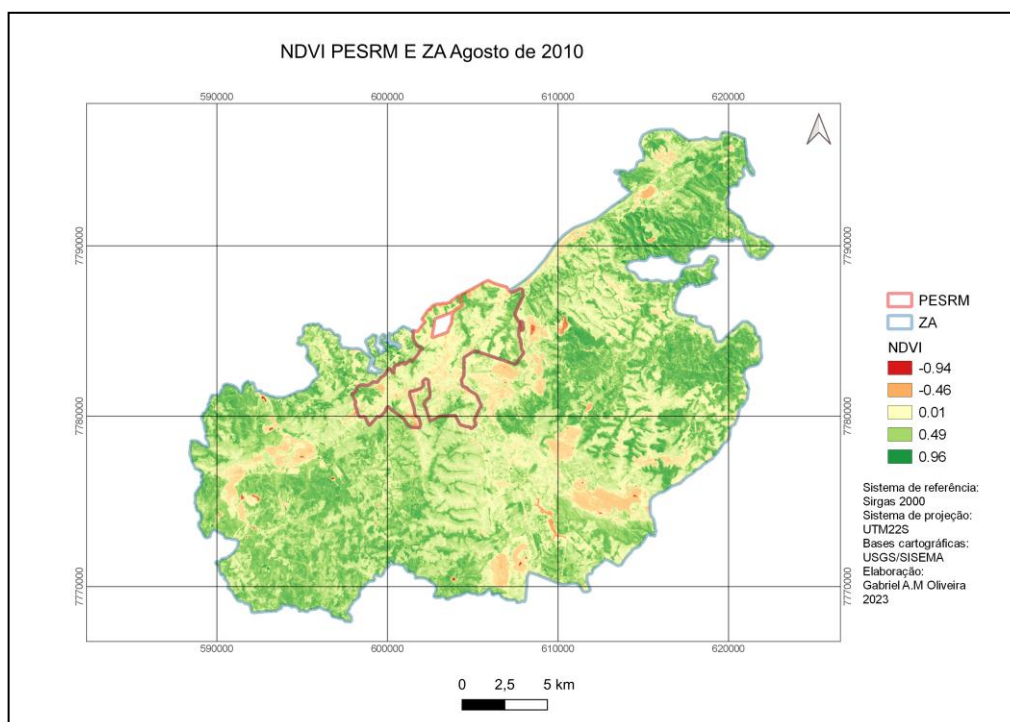
Apêndice X NDVI PESRM/ZA setembro de 2008



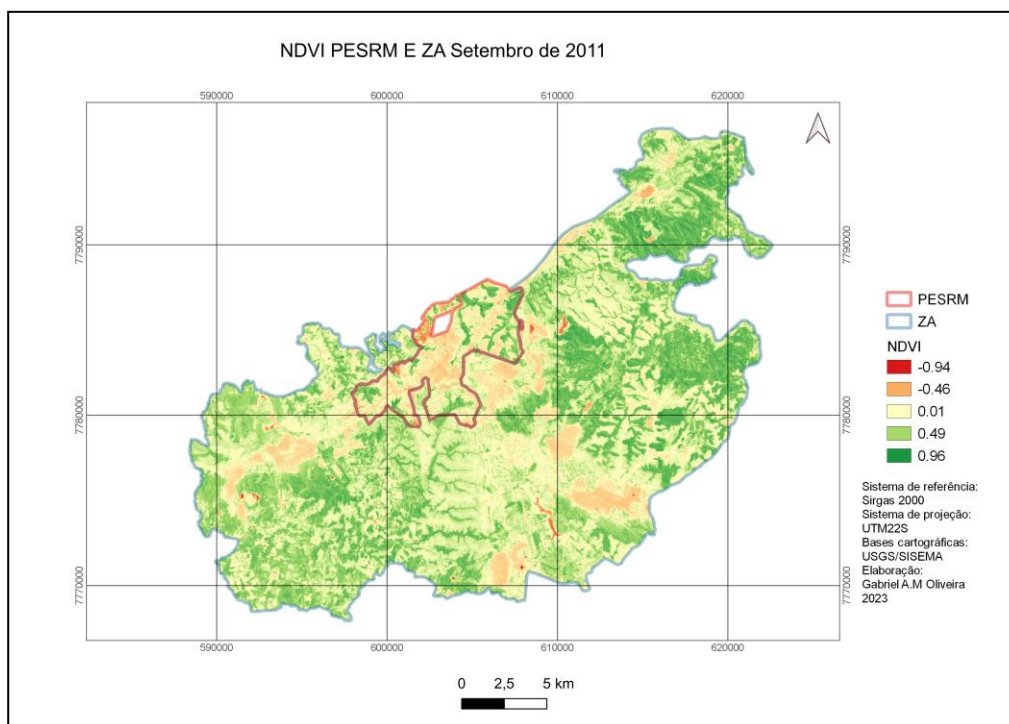
Apêndice Y NDVI PESRM/ZA julho de 2009



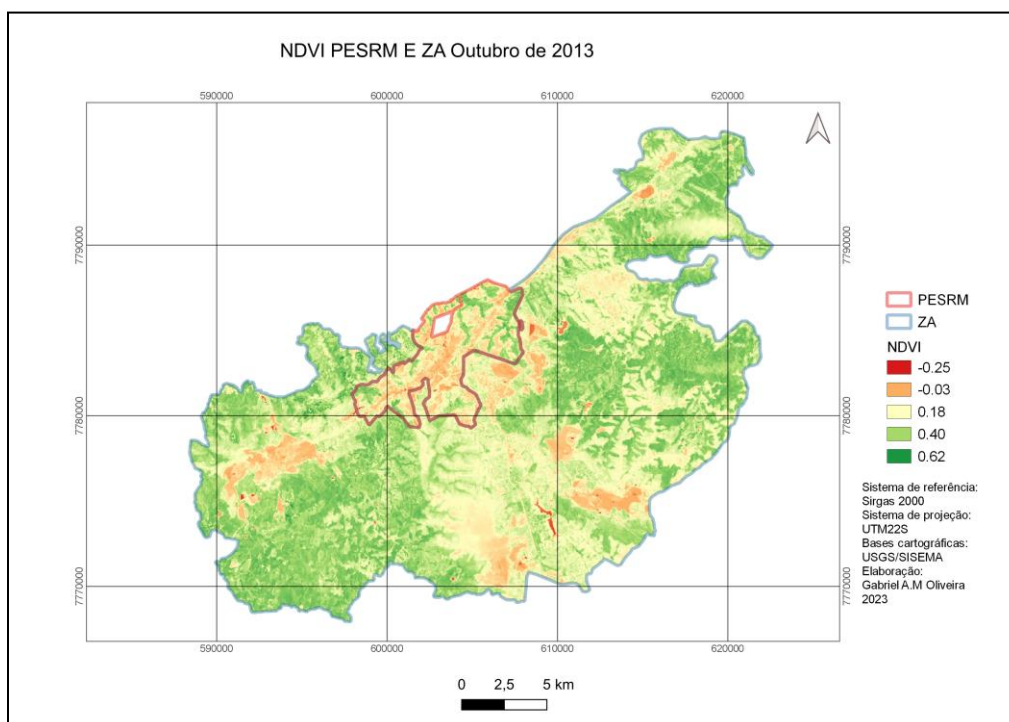
Apêndice Z NDVI PESRM/ZA agosto de 2010



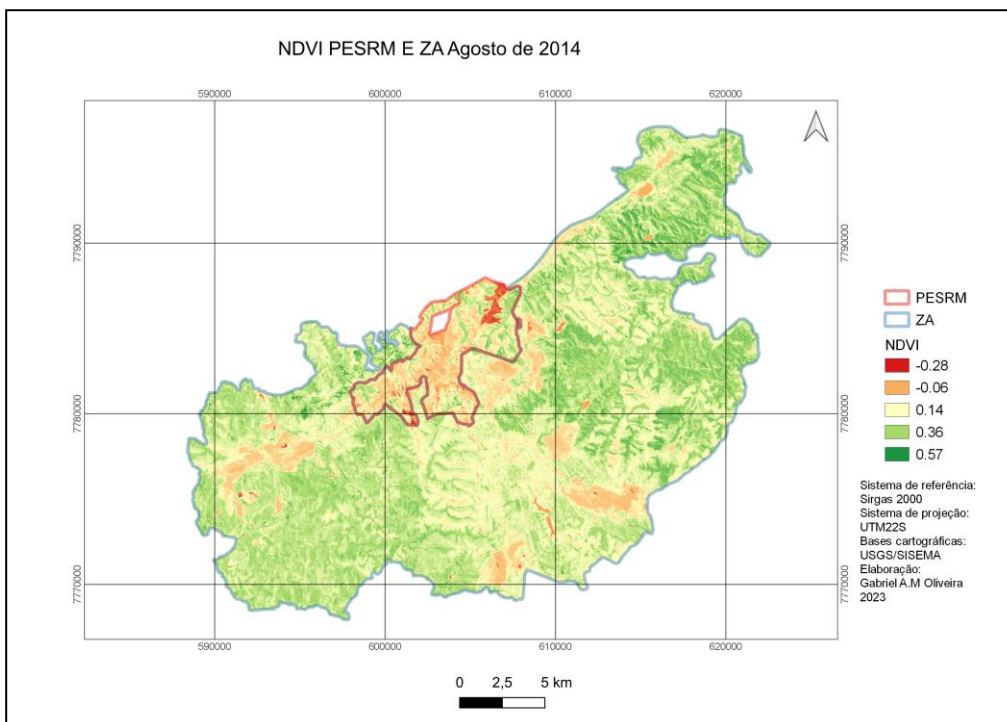
Apêndice A1 NDVI PESRM/ZA setembro de 2011



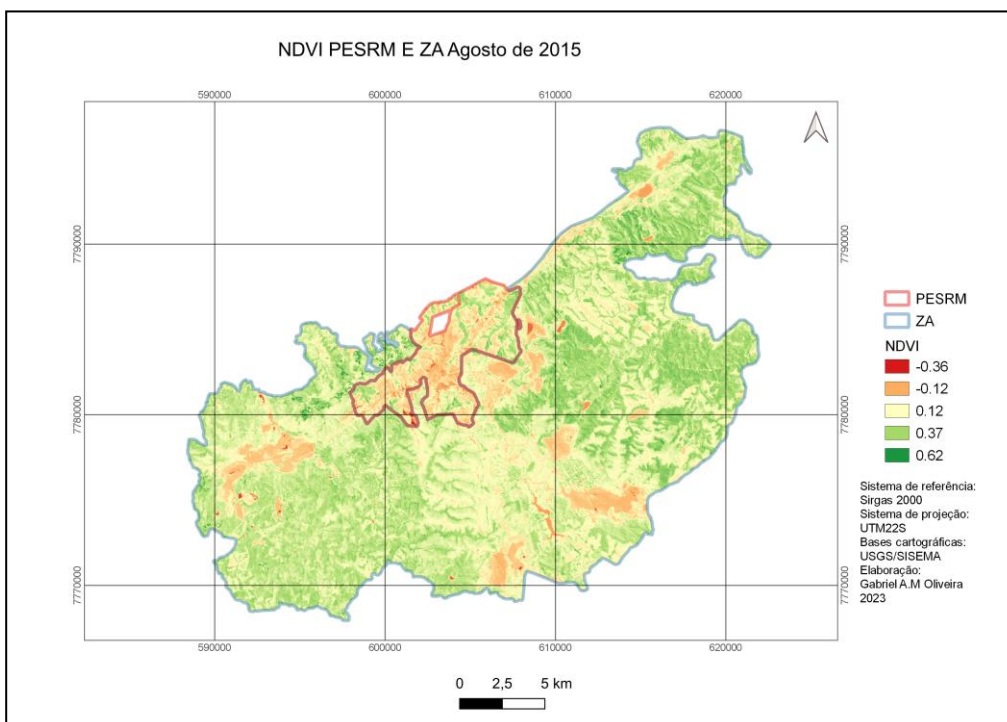
Apêndice B1 NDVI PESRM/ZA outubro de 2013



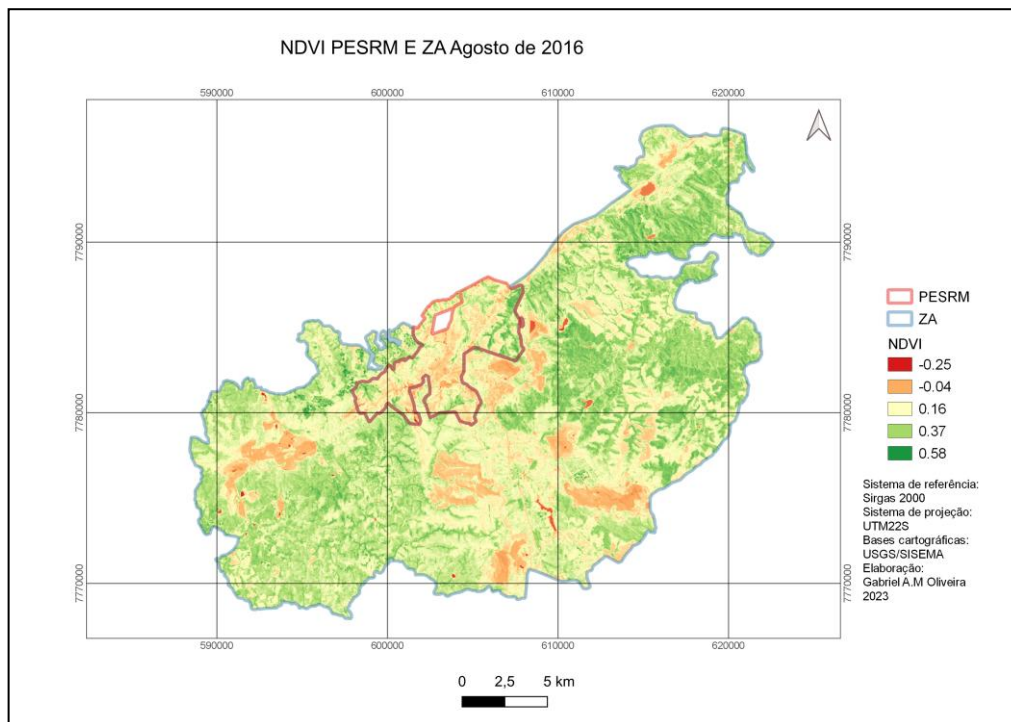
Apêndice C1 NDVI PESRM/ZA agosto de 2014



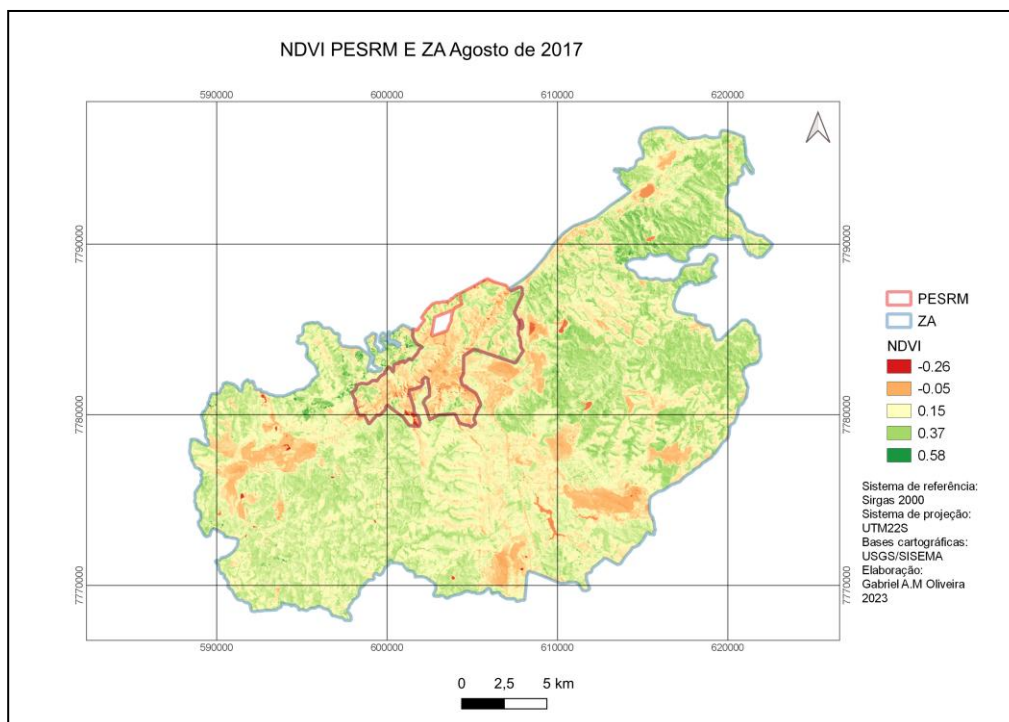
Apêndice D1 NDVI PESRM/ZA agosto de 2015



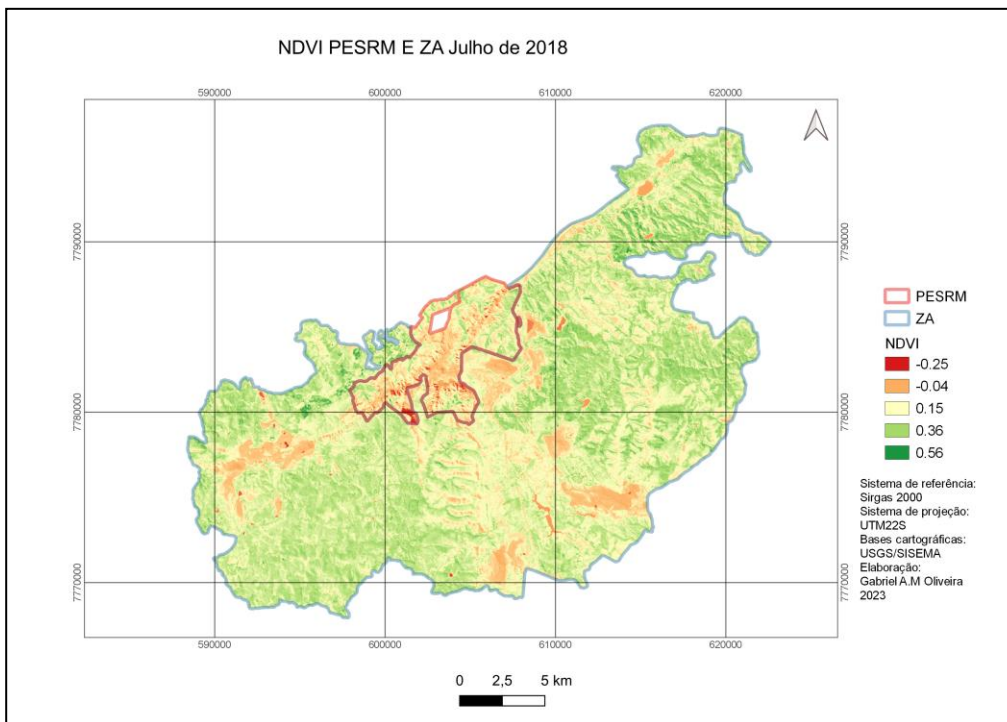
Apêndice E1 NDVI PESRM/ZA agosto de 2016



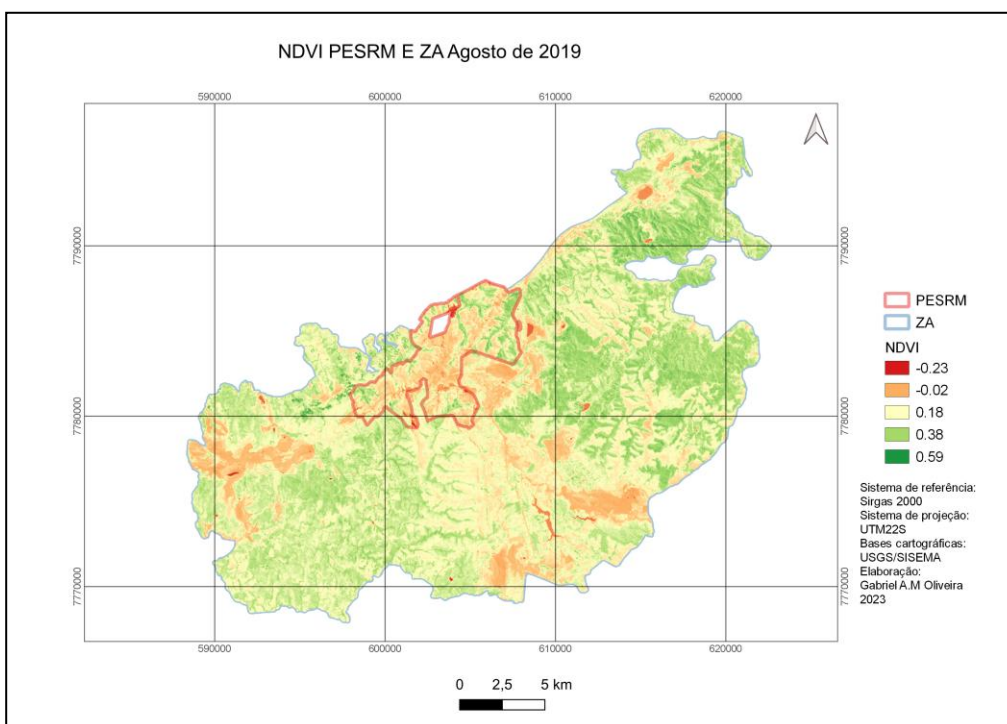
Apêndice F1 NDVI PESRM/ZA agosto de 2017



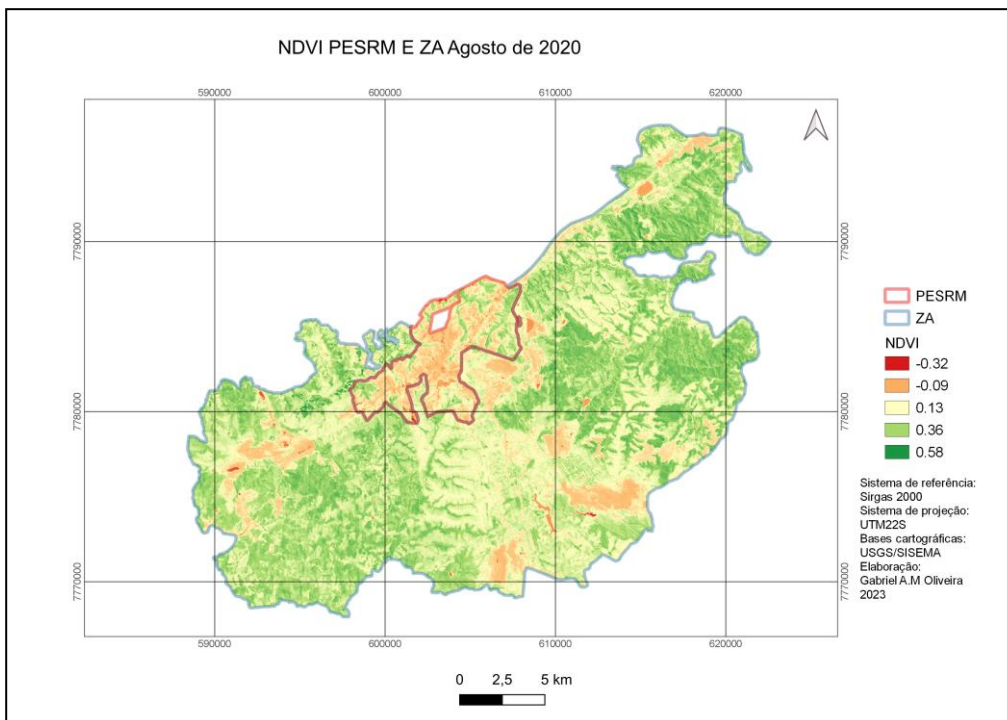
Apêndice G1 NDVI PESRM/ZA julho de 2018



Apêndice H1 NDVI PESRM/ZA agosto de 2019



Apêndice I1 NDVI PESRM/ZA agosto de 2020



Apêndice J1 NDVI PESRM/ZA junho de 2021

