

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Instituto de Geociências

Programa de Pós-graduação em Geografia

Vinícius Matos Batista

**O MANEJO INTEGRADO DO FOGO COMO FERRAMENTA DE REDUÇÃO DE
INCÊNDIOS FLORESTAIS: um estudo de viabilidade de aplicação de queimas
prescritas na Estação Ecológica da UFMG**

Belo Horizonte

2025

Vinícius Matos Batista

**O MANEJO INTEGRADO DO FOGO COMO FERRAMENTA DE REDUÇÃO DE
INCÊNDIOS FLORESTAIS: um estudo de viabilidade de aplicação de queimas
prescritas na Estação Ecológica da UFMG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Organização do Espaço

Orientador: Prof. Dr. Bernardo Machado Gontijo

Belo Horizonte

2025

B333m
2025

Batista, Vinicius Matos.

O manejo integrado do fogo como ferramenta de redução de incêndios florestais [manuscrito] : um estudo de viabilidade de aplicação de queimas prescritas na Estação Ecológica da UFMG / Vinicius Matos Batista. – 2025.

144 f., enc. il. (principalmente color.)

Orientador: Bernardo Machado Gontijo.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2025.

Área de concentração: Organização do Espaço.

Bibliografia: f. 131-137.

Inclui apêndice.

1. Microclimatologia florestal – Teses. 2. Incêndios florestais – Prevenção e controle – Teses. 3. Fogo – Administração – Teses. 4. Queimada – Teses. 5. Estação Ecológica da UFMG (Belo Horizonte, MG) – Teses. I. Gontijo, Bernardo Machado. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 551.58(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
COLEGIADO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

"O MANEJO INTEGRADO DO FOGO COMO FERRAMENTA DE REDUÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS: um estudo de viabilidade de aplicação de queimas prescritas na Estação Ecológica da UFMG"

VINÍCIUS MATOS BATISTA

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia 28 de fevereiro de 2025, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, constituída pelos seguintes professores:

Bernardo Machado Gontijo

IGC/UFMG

Carlos Henrique Jardim

IGC/UFMG

José Eugênio Côrtes Figueira

ICB/UFMG

Belo Horizonte, 28 de fevereiro de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Bernardo Machado Gontijo, Professor do Magistério Superior**, em 01/03/2025, às 16:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Henrique Jardim, Professor do Magistério Superior**, em 06/03/2025, às 15:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose Eugenio Cortes Figueira, Professor do Magistério Superior**, em 06/03/2025, às 15:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3971146** e o código CRC **3497AB6E**.

A todos(as) aqueles(as) que lutam pela defesa
do meio ambiente e da biodiversidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me permitir vivenciar tantas experiências transformadoras, como a realização deste mestrado.

A minha família agradeço pelo apoio e suporte em todas as trajetórias que percorri até aqui. Agradeço especialmente a minha mãe Maria Dalva Matos Batista e ao meu pai Zenaldo Batista Matos pelos exemplos de dedicação, honestidade e humanidade. Ao meu irmão Josué Batista Matos agradeço pelo apoio fundamental quando eu vim morar em Belo Horizonte e por ser uma referência de pessoa e de caráter para mim.

À UFMG agradeço pelo compromisso com a ciência e pela defesa da verdade. Em especial, agradeço ao meu Orientador Prof. Dr. Bernardo Gontijo pelos direcionamentos, conselhos e pela confiança no meu trabalho. Agradeço ao Prof. Dr. Carlos Jardim pelos conhecimentos fundamentais transmitidos em suas disciplinas sobre Climatologia. Agradeço ao Prof. Dr. José Eugênio Figueira pelos ensinamentos sobre a Ecologia de Fogo, essenciais para compreensão do Manejo Integrado do Fogo.

A todos os funcionários da Estação Ecológica da UFMG pela dedicação em manter o bom funcionamento e a proteção da área e pelas inúmeras contribuições para a conclusão desta pesquisa. Em especial, agradeço à Profa. Dra. Dodora com quem muito aprendi sobre Gestão de Áreas Protegidas.

Agradeço à Associação Brigada 1, pela dedicação e atuação séria, de forma voluntária, na prevenção e no combate aos incêndios florestais, instituição na qual me formei como brigadista florestal voluntário. Agradeço ao amigo Rodrigo Belo, meu primeiro instrutor e grande defensor do Manejo Integrado do Fogo, pelos inúmeros aprendizados. À amiga Ana Carina Roque agradeço pelo companheirismo, pelos diálogos e pelos importantes livros sobre Incêndios Florestais que me deu e me emprestou. Agradeço ao amigo Mateus Schembri pelo fundamental apoio com as ferramentas de geoprocessamento e na elaboração dos mapas.

Agradeço todos que torceram e que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão do meu mestrado.

RESUMO

Os incêndios florestais têm causado danos em diversas regiões do planeta, como a perda de biodiversidade, a poluição do ar, a degradação de recursos hídricos e do solo, danos à saúde da população, elevados gastos financeiros e mortes humanas. A política de fogo zero gerou um grande acúmulo de combustível, resultando em incêndios cada vez mais severos. Diante disso, os órgãos responsáveis pela gestão das áreas protegidas no Brasil passaram, há pouco mais de uma década, a adotar o Manejo Integrado do Fogo (MIF) para tratar os problemas causados pelo fogo sem controle. O MIF consiste em estratégias e ações que buscam minimizar os impactos do mau uso do fogo e maximizar os benefícios do fogo em um regime ecologicamente adequado. O MIF se baseia em três dimensões: 1) O manejo do fogo (prevenção, supressão ou uso do fogo); 2) A ecologia do fogo (atributos ecológicos do fogo); 3) A cultura do fogo (necessidades socioeconômicas e culturais do uso do fogo). No âmbito do MIF é possível o uso do fogo para gestão de combustível por meio de queimas prescritas, que consistem na aplicação científica do fogo em uma área preestabelecida e estudada, com objetivos pré-determinados. A Estação Ecológica da UFMG (EEco-UFMG) é uma área protegida urbana que sofre com a ocorrência de incêndios florestais, apesar da aplicação das técnicas convencionais de prevenção, o que causa danos a sua biodiversidade. A presente pesquisa tem como objetivo avaliar a viabilidade de emprego do MIF na EEco-UFMG, com foco na aplicação de queimas prescritas como ferramenta de gestão de combustível para reduzir a intensidade e a severidade dos incêndios florestais. Para alcançar os objetivos da pesquisa foi realizado um estudo dos ecossistemas presentes na EEco-UFMG para verificar se no local há ambientes que evoluíram com a presença do fogo em um regime ecologicamente adequado. Desenvolveu-se um estudo dos aspectos climáticos, por meio de dois procedimentos metodológicos: o cálculo do balanço hídrico climatológico para identificar as janelas de queima prescrita e; uma análise do microclima em função dos aspectos biogeográficos para identificar padrões de oscilação da temperatura e da umidade relativa do ar. Foi realizado, ainda, o estudo das ocorrências e dos riscos de incêndios florestais para caracterizar o regime de fogo do local e apontar de que forma o fogo está sendo utilizado e as fontes de ignição. Os resultados mostraram que a EEco-UFMG possui ecossistemas em que é possível a aplicação de queimas prescritas no âmbito do MIF e que os meses de abril a junho são os mais propícios para emprego desta técnica. A pesquisa demonstrou que o regime de fogo vigente atual é inadequado e danoso, com alta frequência de incêndios em períodos de baixa umidade e de altas temperaturas. O manejo de combustível por meio de queimas prescritas, no âmbito do MIF, se apresentou como uma ferramenta com grande potencial para reduzir os impactos dos incêndios florestais.

Palavras-chave: incêndios florestais; manejo integrado do fogo; queima prescrita.

ABSTRACT

Wildfires have caused damages in several regions of the planet, such as loss of biodiversity, air pollution, degradation of water resources and soil, damage to the population health, high financial costs and human deaths. The zero-fire policy has generated a large accumulation of fuel, resulting in increasingly severe fires. In view of this, the agencies responsible for managing protected areas in Brazil began, a little over a decade ago, to adopt the Integrated Fire Management (MIF) approach to deal with the problems caused by uncontrolled fire. MIF consists of strategies and actions that seek to minimize the impacts of the misuse of fire and maximize the benefits of fire in an ecologically appropriate regime. MIF is based on three dimensions: 1) Fire management (prevention, suppression or use of fire); 2) Fire ecology (ecological attributes of fire); 3) Fire culture (socioeconomic and cultural needs of fire use). Within the scope of MIF it is possible to use controlled fire for fuel management through prescribed burning, which consists of the scientific application of fire in a pre-established and studied area, with predetermined objectives. The UFMG Ecological Station (EEco-UFMG) is an urban protected area that suffers from forest fires. Despite the application of conventional prevention techniques, the area has been repeatedly hit by uncontrolled fires, causing damage to its biodiversity. The present research aims to evaluate the feasibility of using MIF at EEco-UFMG, focusing on the application of prescribed burning as a fuel management tool to reduce the intensity and severity of wildfires. To achieve the research objectives, a study of the EEco-UFMG ecosystems was carried out to verify whether there are environments in the area that resulted of an ecologically appropriate regime of fire. A study of the climatic aspects was developed using two methodological procedures: the calculation of climatological water balance to identify the prescribed burning periods and; a microclimate analysis based on biogeographical aspects to identify patterns of oscillation in temperature and relative humidity. A study of the occurrences and risks of forest fires was also carried out to characterize the local fire regime and to identify how fire is being used and the sources of ignition. The research demonstrated that the current fire regime is inadequate and harmful, with a high frequency of fires in periods of low humidity and high temperatures. It was found that EEco-UFMG has ecosystems in which it is possible to apply prescribed burning within the scope of the MIF and identified that the months of April to June are the most suitable for using this technique. Fuel management through prescribed burning, within the scope of the MIF, has shown itself to be a tool with great potential to reduce the impacts of wildfires.

Keywords: wildfires; integrated fire management; prescribed burning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa da localização da EEco-UFMG em função da Bacia Hidrográfica.....	18
Figura 2 - Climograma de Belo Horizonte (Normais Climatológicas: 1991-2020).....	21
Figura 3 - Unidades climáticas naturais de Belo Horizonte: climas locais, mesoclimas e topoclimas.....	22
Figura 4 - Fotos de incêndios florestais ocorridos na EEco-UFMG em 2005	25
Figura 5 - Fotos de incêndios florestais ocorridos na EEco-UFMG em 2009	26
Figura 6 - Fotos de incêndios florestais ocorridos na EEco-UFMG em 2010	27
Figura 7 - Imagem de delimitação de área atingida por fogo na EEco-UFMG em 2014.....	27
Figura 8 - Voluntários da Brigada 1 após incêndio na EEco-UFMG (Outubro/2019)	28
Figura 9 - Triângulo do Fogo	32
Figura 10 - Triângulo do Manejo Integrado do Fogo.....	42
Figura 11 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos	54
Figura 12 - Mapa de delimitação dos ecossistemas da EEco-UFMG (Quarteirão 14)	58
Figura 13 - Mapa de uso e ocupação do solo de áreas protegidas urbanas da Pampulha, Belo Horizonte – MG.....	59
Figura 14 - Datalogger HT-4000 e pontos de instalação dos abrigos climatológicos.....	69
Figura 15 - Mapa de Compartimentação da EEco-UFMG em unidades microclimáticas	72
Figura 16 - Fluxograma do Mapeamento de Risco de Incêndios.....	77
Figura 17 - Novo ecossistema de Mata Semidecídua identificado.....	83
Figura 18 - Bacia de Contenção de Águas Pluviais	84
Figura 19 - Bosque de Leucenas	85
Figura 20 - Vegetação característica de Cerrado.....	86
Figura 21 - Delimitação atualizada dos Ecossistemas do Quarteirão 14 da EEco-UFMG	87
Figura 22 - Árvores atingidas por incêndio florestal no Quarteirão 15.....	88
Figura 23 - Bosque de eucaliptos com sub-bosque de gramíneas exóticas.....	88
Figura 24 - Remanescentes de mata estacional semidecidual no quarteirão 15.....	89
Figura 25 - Vegetação alterada com presença de gramíneas africanas	90
Figura 26 - Plantações não autorizadas no Quarteirão 15	90
Figura 27 - Mapa de Delimitação dos Ecossistemas do Quarteirão 15.....	91
Figura 28 - Climograma da EEco-UFMG (Est. Automática INMET A521: 2008 a 2022)	93
Figura 29 - Gráfico do Balanço Hídrico Normal.....	94
Figura 30 - Balanço Hídrico Climatológico da EEco-UFMG.....	95

Figura 31 - Extrato do Balanço Hídrico da EEco-UFMG	96
Figura 32 - Capacidade de Armazenamento x Armazenamento Mensal	97
Figura 33 - Gráfico de Temperaturas máximas diárias dos pontos no período da coleta	100
Figura 34 - Gráfico de Temperaturas médias diárias dos pontos no período da coleta.....	101
Figura 35 - Gráfico da Temperatura do ar horária (°C) em 18/04/2023	102
Figura 36 - Gráfico das Mínimas diárias de umidade relativa	104
Figura 37 - Gráfico de Umidade relativa em 20/04/2023.....	105
Figura 38 - Áreas queimadas no quarteirão 14 em 2009 e 2014	108
Figura 39 - Área queimada no quarteirão 15 (Registrada em 19/04/2014).....	109
Figura 40 - Área queimada no quarteirão 15 (Registrada em 30/09/2015).....	109
Figura 41 - Áreas queimadas em 2016, 2017 e 2018	110
Figura 42 - Área queimada no quarteirão 15 em 2019	111
Figura 43 - Áreas queimadas em 2020 e 2021	111
Figura 44 - Áreas queimadas em 2022	112
Figura 45 - Áreas queimadas por incêndios florestais em 2023.....	113
Figura 46 - Áreas queimadas por incêndios florestais em 2024.....	114
Figura 47 - Mapa de recorrência de fogo na EEco-UFMG (2001 a 2024).....	116
Figura 48 - Evolução histórica da cobertura vegetal do quarteirão 15.....	117
Figura 49 - Espécies arbóreas atingidas por incêndio florestal	118
Figura 50 - Cercas de arame arrebitadas.....	119
Figura 51 - Uso do fogo para cozinhar e para aquecer.....	120
Figura 52 - Uso do fogo para queimar fios e para consumo de drogas	121
Figura 53 - Uso do fogo para plantios e rituais religiosos.....	121
Figura 54 - Mapa de Risco de Incêndio Florestal da EEco-UFMG	123
Figura 55 - Mapa das áreas possíveis de aplicação de Queimas Prescritas.....	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperatura média, precipitação acumulada média e umidade do ar média (Normais climatológicas INMET: 1991-2020)	20
Tabela 2 - Início e final da estação chuvosa no Brasil por região	35
Tabela 3 - Quadro do Balanço Hídrico Climatológico	63
Tabela 4 - Falhas identificadas nos dados de TMC	64
Tabela 5 - Estações de apoio para correção de dados de temperatura	65
Tabela 6 - Falhas identificadas nos dados de Precipitação	65
Tabela 7 - Estações de apoio para correção de dados de precipitação	66
Tabela 8 - Médias mensais corrigidas de TMC (°C)	66
Tabela 9 - Médias mensais corrigidas de precipitação acumulada (mm)	67
Tabela 10 - Definição das classes de estradas	78
Tabela 11 - Classificação do Risco de Incêndio em função Cobertura e Uso do Solo	79
Tabela 12 - Classificação do Risco de Incêndio em função da Altitude	79
Tabela 13 - Classificação do Risco de Incêndio em função da Declividade	80
Tabela 14 - Classificação do Risco de Incêndio em função da Temperatura	80
Tabela 15 - Classificação do Risco de Incêndio em função da Orientação do Relevo	80
Tabela 16 - Quadro do Balanço Hídrico Climatológico da EEco-UFMG	92
Tabela 17 - Máximas absolutas, médias, mínimas absolutas e amplitude de temperatura	99
Tabela 18 - Máxima absoluta, média, mínima absoluta e amplitude de umidade relativa	103
Tabela 19 - Síntese de dados de incêndios florestais na EEco-UFMG	115

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Ascensão capilar
ALT	Alteração do armazenamento de água
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ARM	Armazenamento de água no solo
ASAS	Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
B1	Brigada 1
BH-Tec	Parque Tecnológico de Belo Horizonte
CAD	Capacidade de Água Disponível
CO ₂	Dióxido de Carbono
COMAM	Conselho Municipal de Meio Ambiente de Belo Horizonte
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DEF	Déficit hídrico
EEco-UFMG	Estação Ecológica da Universidade Federal de Minas Gerais
ETP	Evapotranspiração Potencial
ETR	Evapotranspiração real
EVA	Espuma vinílica acetinada
EXC	Excedente hídrico
FAO	Serviço Florestal dos Estados Unidos da América
H ₂ O	Água
ha	Hectares
I	Irrigação
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e de Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDW	Inverso da Distância
IEF/MG	Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espacial
KML	Keyhole Markup Language
MDE	Modelo digital de elevação do terreno
MIF	Manejo Integrado do Fogo
mm	Milímetros

NEG-AC	Negativo acumulado
NIR	Infravermelho próximo
O ₂	Oxigênio
°C	Graus Celsius
OMM	Organização Meteorológica Mundial
P – ETP	Precipitação menos evapotranspiração potencial
P	Precipitação
PVC	Policloreto de polivinila
RLM	Regressão linear múltipla
ROIF	Risco de ocorrência de incêndios florestais
SCO	Sistema de comando de operações
Shp	Shape
SIG	Sistema de informação geográfica
SMMA	Secretaria Municipal de Meio Ambiente
T	Temperatura
TMC	Temperatura média compensada
T _n	Temperatura média do mês n
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UOT	Uso de ocupação da terra
UR	Umidade relativa
ΔARM	Variação de armazenamento de água

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	16
2.1 A Estação Ecológica da UFMG	16
2.1.1 Aspectos Histórico-culturais.....	16
2.1.2 Aspectos Físico-biológicos	17
2.1.3 Uso Público e Gestão	23
2.1.4 Histórico de Incêndios Florestais.....	24
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	30
3.1 Incêndios Florestais	30
3.1.1 Conceitos, Causas e Impactos	30
3.1.2 Fatores que Influenciam o Comportamento do Fogo.....	34
3.1.3 Legislação sobre Incêndios Florestais no Brasil.....	37
3.2 O Manejo Integrado do Fogo	41
3.2.1 Ecologia do Fogo (Atributos Ecológicos do Fogo).....	42
3.2.2 O papel do Fogo no Cerrado.....	45
3.2.3 Cultura do Fogo (Necessidades e Impactos Socioeconômicos)	46
3.2.4 Manejo do Fogo (Prevenção, Supressão e Uso do Fogo)	48
3.2.5 As Queimas Prescritas.....	49
4 METODOLOGIA.....	52
4.1 Identificação dos Ecossistemas presentes na EEco-UFMG	54
4.2 Caracterização dos Aspectos Climatológicos da EEco-UFMG	60
4.2.1 Cálculo do Balanço Hídrico Climatológico da EEco-UFMG.....	61
4.2.2 Análise Microclimática da EEco-UFMG	68
4.3 Avaliação das Ocorrências de Incêndios Florestais da EEco-UFMG.....	73
4.4 Mapeamento do Risco de Incêndios Florestais da EEco-UFMG	74
5 RESULTADOS	82
5.1 Ecossistemas presentes na EEco-UFMG	82
5.2 Aspectos Climáticos da EEco-UFMG.....	91
5.2.1 Janelas de Queimas Prescritas.....	96
5.2.2 Padrões Microclimáticos da EEco- UFMG	99
5.3 Regime de Fogo da EEco-UFMG	106
5.4 Mapa de Risco de Incêndios da EEco-UFMG.....	122
5.5 Áreas possíveis de aplicação de Queimas Prescritas	124
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	127
REFERÊNCIAS	131
APÊNDICE	138

1 INTRODUÇÃO

Os incêndios Florestais são um grave problema de ordem mundial e todos os anos afetam grandes áreas, causando impactos negativos, como a redução da fauna e da flora, degradação do solo, poluição do ar, altos gastos financeiros, danos à saúde da população, podendo causar mortes (Lorenzon *et al.*, 2018).

Os incêndios florestais têm causado vários impactos sociais, ambientais e econômicos no mundo, havendo uma tendência de aumento de sua intensidade e frequência. Esse fato, aliado ao crescimento de locais de interseção entre áreas com concentração de pessoas e áreas com cobertura vegetal (áreas de interface urbano-rural), tem chamado atenção de governos e pesquisadores. Nesses locais tem se concentrado um grande número de ocorrências com especificidades em termos de intensidade, época de ocorrência e área atingida. (Soares; Tetto; Wendling, 2020).

A prevenção aos incêndios florestais é entendida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) como o conjunto de ações que devem ser realizadas e que contribuam para a redução dos riscos de ocorrências de incêndios, tais como: a confecção e manutenção de aceiros, utilização de sistemas de vigilância e detecção, monitoramento, sensibilização e estabelecimento de calendários de queima com os produtores rurais, um trabalho permanente de educação ambiental com a população do entorno, entre outras ações (ICMBIO, 2010).

Mesmo diante da adoção de medidas habituais de prevenção de incêndios florestais e dos investimentos nessas ações, tem-se presenciado o aumento do número de ocorrências em alguns anos, bem como o aumento da severidade das mesmas, o que é ainda mais grave. Diante disso, é preciso avançar na forma de atuação frente aos incêndios florestais, fazendo-se necessário avaliar outras possibilidades além das atividades habituais de prevenção que vem sendo aplicadas há algumas décadas (Myers, 2006).

A política de fogo zero adotada até recentemente nas unidades de conservação, que consiste na tentativa de supressão total do fogo, tem resultado em um grande acúmulo de biomassa. Quando o fogo sem controle atinge essas áreas, apesar de todo o trabalho de prevenção e combate, ocorrem grandes e severos incêndios (Bruno, et al., 2018). Sob essa ótica, o Manejo Integrado do Fogo (MIF) pode se configurar como uma ferramenta importante para a prevenção e redução da intensidade dos incêndios em áreas protegidas. (Myers, 2006).

O MIF é uma abordagem que se baseia nos aspectos ecológicos, culturais e técnicos de manejo do fogo de forma interdisciplinar, para propor ações integradas, com objetivo de garantir a conservação e o uso sustentável dos ecossistemas e melhorar a gestão sobre o território. Neste contexto, o MIF abrange um conjunto de decisões técnicas e de ações articuladas entre si, que buscam: prevenir, detectar, controlar, usar ou não o fogo em uma determinada paisagem, com o intuito de atingir metas e alcançar objetivos específicos pré-estabelecidos (ICMBIO, 2022).

O ICMBio tem trabalhado o conceito de MIF com adaptações, tendo em vista a necessidade de correções e melhorias nos processos. O foco é o manejo de biomassa com uso de fogo, em época e locais previamente definidos e estudados. Uma vez que tem a capacidade de reduzir a área atingida por incêndios, bem como a intensidade destes, esse manejo auxilia na conservação da biodiversidade, diminuindo os investimentos no combate aos incêndios e seus impactos sobre a fauna e flora (Bruno, *et al.*, 2018).

Recentemente, o Governo do Estado de Minas Gerais regulamentou o uso de fogo para fins de prevenção e de combate a incêndios florestais no interior e no entorno de Unidades de Conservação instituídas pelo Poder Público estadual, por meio do Decreto nº 47.919 de 17/04/2020. Desde então, Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais (IEF/MG) vem empregando técnicas de manejo integrado do fogo para fins de prevenção e de combate a incêndio florestal, a exemplo das queimas prescritas (MINAS GERAIS, 2020).

A gestão do fogo nas unidades de conservação e demais áreas protegidas, tem se apresentado como um grande desafio para os gestores, especialmente em áreas de proteção localizadas próximas ou inseridas em centros urbanos. Os incêndios florestais têm se destacado entre as diversas pressões que essas áreas sofrem (Lorenzon, *et al.*, 2018).

A Estação Ecológica da Universidade Federal de Minas Gerais (EEco-UFMG), é uma área protegida urbana, localizada em Belo Horizonte, Minas Gerais, e assim como grande parte das áreas protegidas do Brasil, vem sofrendo com a ocorrência de incêndios florestais. Nos últimos anos, o fogo sem controle atingiu áreas importantes da EEco-UFMG, sendo necessária a atuação de brigadistas florestais voluntários, de funcionários da Universidade, do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais e de outras instituições em ações de combate a incêndios florestais no local (UFMG, 2020).

Diante do problema enfrentado pela EEco-UFMG, de ter sua área atingida por incêndios florestais de forma recorrente, apesar do emprego das técnicas habituais de prevenção, o que gera a redução de sua biodiversidade, constata-se a necessidade de avaliar a possibilidade de

utilização de novas metodologias e técnicas eficazes de prevenção e redução dos prejuízos causados pelos incêndios no local, o que justifica o desenvolvimento deste trabalho.

Considerando que os órgãos responsáveis pela gestão dos incêndios florestais em áreas protegidas no Brasil têm direcionado seus trabalhos para o emprego do Manejo Integrado do Fogo como ferramenta de prevenção e redução da severidade das ocorrências, demonstra-se ser relevante avaliar a viabilidade de utilização do MIF na EEco-UFMG.

A limitação de recursos financeiros e de pessoal, a fragmentação da área, a dificuldade e falta de estrutura para realizar um efetivo monitoramento, entre outros problemas enfrentados pela EEco-UFMG, conforme apontando em seu Plano de Manejo, reforçam a importância de se buscar alternativas eficientes e de baixo custo, como o MIF, para enfrentar um dos grandes desafios da gestão, que é reduzir a severidade das ocorrências dos incêndios e assim, proteger a biodiversidade do local (UFMG, 2022).

O presente trabalho tem, portanto, o objetivo central de verificar a viabilidade de emprego do MIF como ferramenta de redução de incêndios florestais na EEco-UFMG, considerando as especificidades desta área protegida, tais como os ecossistemas que a compõe, sua biodiversidade, condições estruturais e sua inserção em uma área urbana. O MIF consiste em um conjunto de ações que tem por objetivo a minimização dos danos causados pelos incêndios florestais, podendo utilizar o fogo (queimas prescritas) para manejar a biomassa acumulada. Nesse sentido, esta dissertação tem também o objetivo de avaliar a possibilidade aplicação de queimas prescritas como ferramenta de gestão de combustível para reduzir a intensidade e a severidade dos incêndios florestais na EEco-UFMG.

Este trabalho está estruturado em seções da seguinte forma: Introdução, que apresenta o tema abordado e as problemáticas relacionadas; Caracterização da área de estudo definida para o desenvolvimento desta dissertação; Revisão de literatura, realizada para aprofundar o conhecimento a respeito do tema estudado; Metodologia empregada para alcançar os resultados; Resultados obtidos; Considerações finais; Referências bibliográficas consultadas.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 A Estação Ecológica da UFMG

2.1.1 *Aspectos Histórico-culturais*

Em 1942 a região ocupada pela então Fazenda Dalva, situada na zona suburbana de Belo Horizonte, região da Pampulha, foi desapropriada para dar lugar à sede da Cidade Universitária. O local escolhido foi aprovado pela comunidade universitária tendo em vista a amplitude, a tranquilidade e a topografia da área e sua relativa proximidade ao centro urbano e a facilidade de transportes (UFMG, 2022).

A área em que hoje se encontra a EEco-UFMG foi cedida em 1944 por Juscelino Kubitschek, prefeito de Belo Horizonte à época, para a criação de um Lar de Meninos, que tinha como objetivo abrigar crianças e jovens em situação de vulnerabilidade e capacitá-los para exercerem diferentes ofícios, como o de cartonagem e o de fabricação de tijolos. Em 1948, a Pequena Obra da Divina Providência assumiu a administração do Lar, passando a ser chamado de Lar dos Meninos Dom Orione (Souza, 2001).

No seu auge, o Lar chegou a abrigar aproximadamente 300 internos em suas dependências, que contava com uma robusta infraestrutura, dispondo de dormitórios, restaurante, capela e uma olaria contendo forno, chaminé e galpões, onde se fabricavam de 8 a 12 mil tijolos por dia. Parte dessa produção foi destinada a construções na região da Pampulha (SOUZA, 2001). Por meio de Decreto Federal, emitido em 1956, o Lar dos Meninos Dom Orione foi desapropriado para a construção da Cidade Universitária, porém, a saída da instituição somente ocorreu de fato em 1974, quando a nova sede foi construída em terreno doado pela prefeitura de Belo Horizonte, na região da Pampulha (UFMG, 2022).

A primeira proposta para se estabelecer uma área preservação ambiental no campus da universidade ocorreu em 1976, por meio de uma portaria que instituiu uma comissão para implantar o “Programa Ecológico do Campus Pampulha”. Em 1979 o programa foi aprovado e a partir dos anos 1980 teve início o desenvolvimento de pesquisas na área, contudo, as atividades foram abandonadas no final desta década (Pont, 2008).

A proposta de implantação da Estação Ecológica se deu em 1988, por meio de uma comissão composta por diversos professores da Universidade e desde então passou a se adotar esta denominação para o espaço. Para consolidar o uso da área foram estabelecidas parcerias com diferentes instituições, tais como: o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e de Recursos

Naturais Renováveis (IBAMA) para criação de um Centro de Triagem de Reintrodução de Psitacídeos e outros grupos faunísticos; e a Prefeitura de Belo Horizonte, que cedeu um funcionário para atuar na administração do local. O espaço sediou, em seu início, o Programa de Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre, criado em 1989. Em decorrência da não institucionalização da área, o espaço foi demandado para construção das Escolas de Farmácia e Odontologia. Esta demanda gerou a mobilização de professores e alunos para que as construções não se concretizassem e, após processo instituído pelo Conselho Deliberativo do Patrimônio Cultural de Belo Horizonte, a área foi tombada em 1992 (UFMG, 2022).

Em 2015 a EEco-UFMG passou a ser vinculada à Pró-Reitoria de Extensão da UFMG por meio da Resolução nº 02/2015, de 11 de agosto de 2015, que estabeleceu o seu Regimento Interno, dispondo sobre os objetivos, as competências e a estrutura organizacional da área. Este Regimento também instituiu o Conselho Diretor, órgão superior de deliberação da Estação Ecológica. Em 2021, por meio da Resolução nº 03/2021 de 16 de março de 2021, o Regimento Interno foi alterado e, entre outras modificações, o Conselho Diretor foi ampliado e passou a ser composto por dez membros titulares (UFMG, 2021).

2.1.2 Aspectos Físico-biológicos

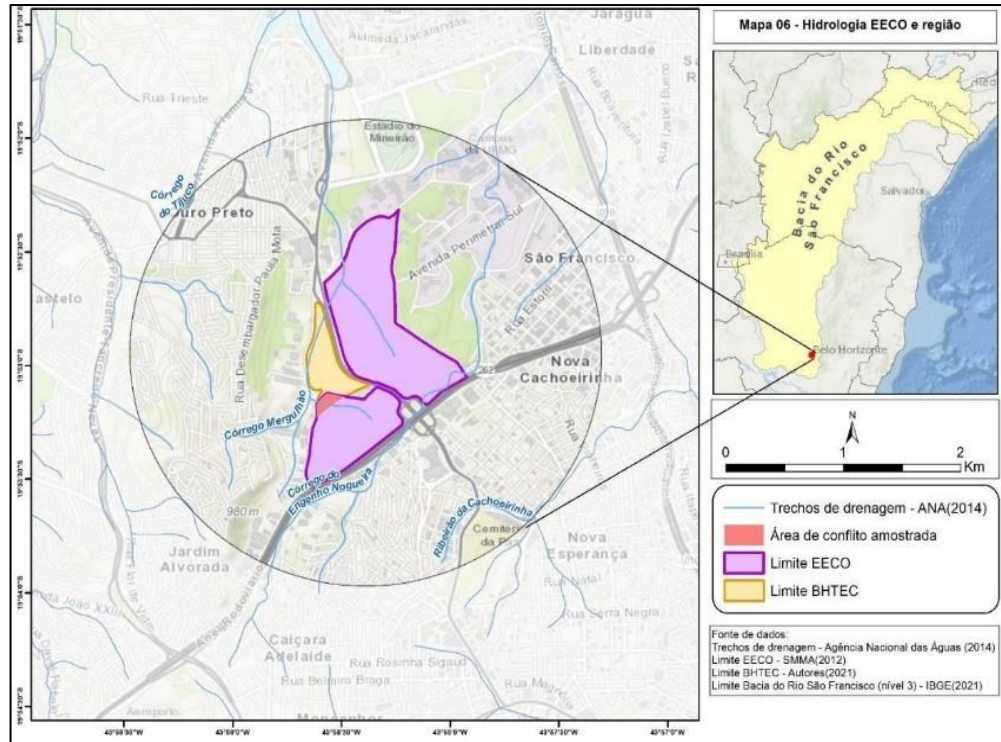
A EEco-UFMG é uma importante área verde protegida de 114 hectares de extensão, tombada pelo Conselho Deliberativo do Patrimônio Cultural de Belo Horizonte em 1992, localizada no campus Pampulha da UFMG e que tem por objetivos a realização de atividades de extensão, ensino, pesquisa e conservação do seu patrimônio natural e histórico-cultural (UFMG, 2021).

A área da EEco-UFMG é composta pelo quarteirão 14 e parte do quarteirão 15 da universidade, sendo entrecortada pela Avenida Presidente Carlos Luz, formando duas subáreas. O quarteirão 14 é uma área contínua ao restante do campus e o quarteirão 15 está localizado entre a Avenida Presidente Carlos Luz, o Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo e a Rua Professor José Vieira de Mendonça (antiga estrada Engenho Nogueira) e possui extensão de 51 hectares, dos quais 35 hectares fazem parte da EEco-UFMG (Neves, 2002).

Como pode ser observado na **Figura 1**, o relevo do campus Pampulha da UFMG desenvolve-se ao redor de duas microbacias hidrográficas: do córrego Mergulhão e do córrego do Engenho Nogueira, onde se formam vales planos de pequenas extensões, delimitados por vertentes de inclinação suave (Cencic, 1996 *apud* Pont, 2008). Estes dois córregos pertencem

à bacia hidrográfica da Pampulha que, por sua vez, faz parte da bacia hidrográfica do rio das Velhas, que desemboca no rio São Francisco, uma das doze grandes bacias hidrográficas nacionais (UFMG, 2022).

Figura 1 - Mapa da localização da EEco-UFMG em função da Bacia Hidrográfica



Fonte: UFMG, 2022.

O córrego Mergulhão possui aproximadamente 3km de extensão, sendo 1km de canal aberto canalizado em via pública e cerca de 2 km de extensão de trecho natural. Cerca de 1,5km do seu trecho natural está localizado nas dependências da UFMG. O córrego está situado em área urbana com grande concentração de edificações, comércio e intenso fluxo de pessoas e veículos, possuindo áreas verdes em seu entorno apenas no trecho localizado na universidade, onde é utilizado como instrumento de estudo por pesquisadores (Lima *et al.*, 2016).

O córrego Engenho Nogueira possui cerca de 2.400 metros de extensão, nasce nas proximidades do aeroporto Carlos Prates e corre no sentido sul-nordeste até desaguar no ribeirão Pampulha. Com exceção de pequenas áreas localizadas dentro do Campus Pampulha da UFMG, a maior parte do percurso ocorre em meio a áreas urbanizadas, sendo seus últimos 1.500 metros canalizados (Ferreira; Sobrinho, 2010).

O zoneamento ambiental da EEco-UFMG, de acordo com trabalho realizado por Neves (2002), apontou a presença de treze biótopos, tendo sido encontrada uma considerável diversidade de fauna e flora. Foram identificadas na área cerca de nove ordens de mamíferos,

cerca de duzentas e vinte espécies de aves, répteis, anfíbios e invertebrados. A flora do local é rica em espécies nativas, tais como: mutamba, cedro, pau d'óleo, paineira, ipê, jaborandi, cotieira etc. (Gontijo; Neves, 2004).

Kamino (2002), identificou ao todo 555 espécies de vegetais vascularizados na EEco-UFMG, agrupadas em 310 gêneros e 89 famílias. Entre as espécies registradas, vale destacar que quatro destas foram relacionadas na lista vermelha de espécies ameaçadas de extinção em Minas Gerais: *Dalbergia nigra* (Vell.) All. Ex Benth. (Fabaceae), *Dorstenia cayapia* Vell. (Moraceae), *Guatteria vilosíssima* A. St. Hill. (Annomaceae) e *Ocoetea pulchella* Mart. (Lauraceae). A riqueza florística da EEco-UFMG pode ser explicada pela diversidade de habitats, visto que está localizada em uma zona de transição entre os domínios de Cerrado e Mata Atlântica (Kamino, 2002).

Estudo desenvolvido na EEco-UFMG mostrou que os Cambissolos são a classe de solos mais frequente, considerados solos jovens e pouco desenvolvidos, em geral rasos, situados em relevo pouco movimentado, ocorrendo principalmente nos locais com presença de matas semidecíduas. A camada mais superficial desses solos (Horizonte A) é rica em matéria orgânica. Os Latossolos Vermelhos também são encontrados na Estação Ecológica e são solos mais evoluídos em relação ao processo pedogenético, mais estruturados e com camadas mais definidas e profundas. Já os Gleissolos, situados nas proximidades de áreas brejosas e da Lagoa Seca, são solos que em seu processo pedogenético tiveram a influência da dinâmica hidrológica local (Oliveira; Neves, 2009).

Devido à sua localização geográfica, o Estado de Minas Gerais sofre a influência de fenômenos meteorológicos de latitudes médias e tropicais que estabelecem características de um clima de Transição à região, com duas estações bem definidas: uma seca e uma chuvosa. O Estado sofre influência de frentes frias (Frente Polar Atlântica) durante todo o ano e as massas de ar frio, originadas no sul do continente, atingem Minas Gerais provocando queda de temperatura no verão. No inverno, a movimentação do ar produzida pelas frentes frias gera precipitação tipicamente frontal, que atinge a região Sul do Brasil e o sul do Sudeste. Quando as descontinuidades de temperatura e de umidade são muito intensas a precipitação atinge também o Estado de Minas Gerais (Abreu, 1998).

Belo Horizonte está inserida em uma região de Clima Tropical Brasil Central Subquente (IDE-SISEMA, 2023) e as normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (1991-2020) mostram que a temperatura média anual é de 22,1°C, a precipitação acumulada anual média é de 1.578mm e a média anual de umidade relativa do ar é de 63,7%, conforme dados presentes na **Tabela 1**, a seguir.

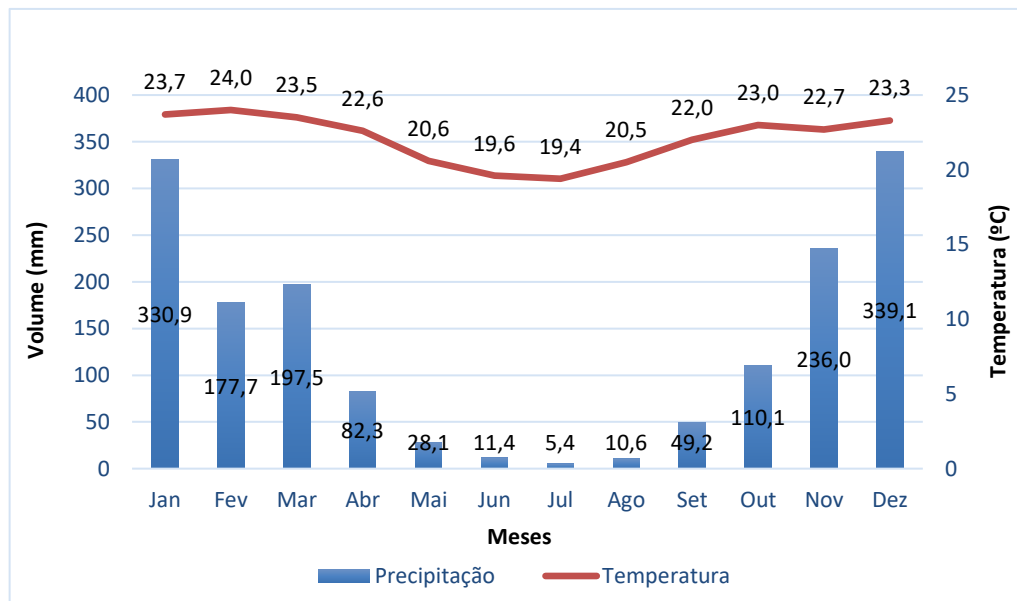
Tabela 1 - Temperatura média, precipitação acumulada média e umidade do ar média (Normais climatológicas INMET: 1991-2020)

Mês	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)	Umidade do ar (%)
Janeiro	23,7	330,9	69,3
Fevereiro	24,0	177,7	66,2
Março	23,5	197,5	68,6
Abril	22,6	82,3	66,3
Maio	20,6	28,1	64,3
Junho	19,6	11,4	62,6
Julho	19,4	5,4	58,4
Agosto	20,5	10,6	54,0
Setembro	22,0	49,2	55,3
Outubro	23,0	110,1	59,9
Novembro	22,7	236,0	68,5
Dezembro	23,3	339,1	71,0
Ano	22,1	1578,3	63,7

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Com relação às temperaturas, fevereiro é o mês mais quente do ano com média de 24,0°C e julho é o mês mais frio com temperatura média de 19,4°C. A estação chuvosa do município ocorre de outubro a abril, sendo dezembro o mês mais chuvoso, com 339,1mm de precipitação. Entre maio e setembro ocorre o período seco, com baixo volume de precipitação, inferior a 50mm, sendo julho o mês mais seco com 5,4mm de volume precipitado (INMET, 2022).

O climograma de Belo Horizonte, apresentado na Figura 2 a seguir, permite a visualização da dinâmica de oscilação destes componentes climáticos.

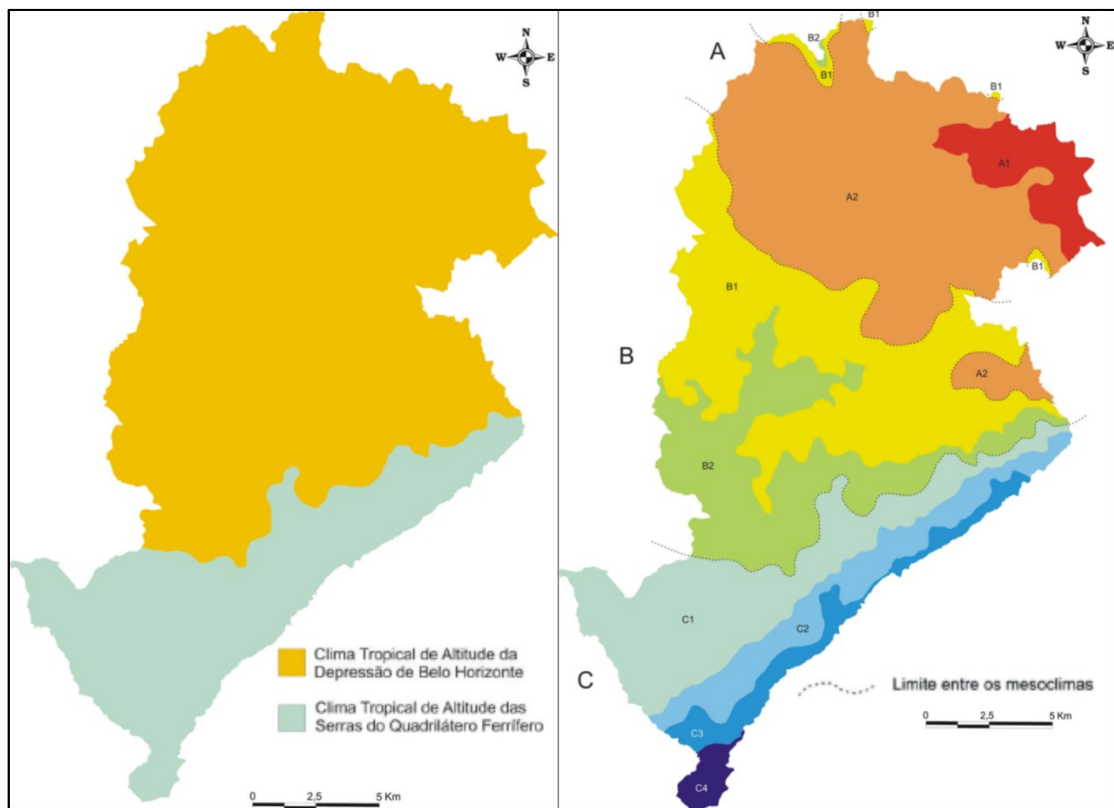
Figura 2 - Climograma de Belo Horizonte (Normais Climatológicas: 1991-2020)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Assis (2012) utilizou dados coletados entre 1910 e 1920 e os analisou em associação com as características físico-ambientais de Belo Horizonte e em função dos fatores climáticos e da sucessão dos sistemas atmosféricos habituais para fazer uma classificação do município em unidades de “Climas Naturais”.

De acordo com o estudo, Belo Horizonte pode ser dividida em duas grandes unidades de “climas naturais” locais: 1) Clima Tropical de Altitude da Depressão de Belo Horizonte e 2) Clima Tropical de Altitude das Serras do Quadrilátero Ferrífero. Por sua vez, estas duas categorias de clima local podem ser subdivididas em três tipos de Mesoclima (A, B e C) e oito Topoclimas (A1, A2, B1, B2, C1, C2, C3, C4). Estas classificações podem ser visualizadas na **Figura 3** (Assis, 2012).

Figura 3 - Unidades climáticas naturais de Belo Horizonte: climas locais, mesoclimas e topoclimas



Fonte: Assis, 2012.

Pela classificação de Assis (2012), a EEco-UFMG está situada na região do clima local Tropical de Altitude da Depressão de Belo Horizonte, no Mesoclima (B), Topoclima (B1). A região classificada como Mesoclima (B) está inserida numa faixa de transição entre Floresta Semidecidual e formações de Cerrado. À norte desta região observa-se um relevo ondulado e suavizado com vertentes côncavas e vales abertos côncavos. Ao sul da Lagoa da Pampulha, destaca-se a formação morfológica de espigão do vale do Engenho Nogueira. Devido a sua elevação altimétrica, o Mesoclima B apresenta uma pequena redução no comportamento térmico e na umidade atmosférica (Assis, 2012).

Considerando que Belo Horizonte encontra-se em uma área deprimida, é comum que no período da noite e início da manhã as temperaturas sejam mais baixas. Porém, com a expansão da cidade e o consequente aumento da produção de calor (indústrias, veículos etc.) e do acúmulo de energia térmica devido ao alto índice de absorção de materiais como o asfalto e o concreto, ocorre um aumento da temperatura local, mesmo no período da noite, visto que as estruturas físicas da cidade dificultam a dissipação do calor (Silva; Jardim, 2017). De acordo com o senso realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2022, Belo

Horizonte tem uma população residente de 2.315.560 pessoas, em uma área de 331,354 km², o que resulta em uma densidade demográfica de 6.988,18 habitantes por km² (IBGE, 2023).

Devido à presença de alguns recursos hídricos e de matas preservadas na EEco-UFMG, o local apresenta temperaturas mais amenas do que as das regiões urbanizadas do centro da cidade. A área consegue interferir no clima local, mesmo que em pequena escala, apesar de sofrer influência da urbanização, devido sua proximidade a avenidas. As condições microclimáticas propiciadas pelas áreas de vegetação nativa da EEco-UFMG são fundamentais para a manutenção de sua fauna e flora. Além do que, oferecem conforto térmico para os visitantes dessa área de preservação localizada no centro urbano de Belo Horizonte (Nascimento *et al.*, 2012).

Outro aspecto que reforça a relevância da EEco-UFMG como uma importante área de preservação é o fato de o local ser um dos mais significativos remanescentes de vegetação do município de Belo Horizonte e por se tratar de um ponto central de integração de áreas verdes que formam um corredor ecológico, contribuindo para a qualidade ambiental do Campus Pampulha da UFMG, do seu entorno e da região da Pampulha (Pont, 2008).

2.1.3 *Uso Público e Gestão*

A atual estrutura de gestão da EEco-UFMG é composta por: um Conselho Diretor, órgão superior de deliberação constituído por 10 membros e respectivos suplentes: uma Diretoria, formada por dois docentes, ocupantes do cargo de Diretor e de Vice-Diretor nomeados, pelo(a) Reitor(a); uma Seção de Apoio Administrativo, composta por um Gerente Administrativo, um assistente em administração e dois estagiários; um Núcleo de Apoio Acadêmico, de caráter consultivo, composto pela Diretoria, pelo Gerente Administrativo e por três representantes docentes da UFMG. A gestão conta ainda com uma equipe de funcionários terceirizados que dá suporte às atividades operacionais, composta por um vigilante, uma faxineira, dois jardineiros e quatro porteiros. Para realização de alguns serviços de manutenção há o apoio de equipes especializadas da Pró-Reitoria de Administração da Universidade (UFMG, 2022).

A EEco-UFMG, conforme estabelece seu Regimento Interno, constitui-se em um espaço para desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão. Nesse contexto, recebe um público bastante diversificado em diferentes atividades realizadas no espaço, totalizando uma média 10.000 (dez mil) visitantes por ano. No âmbito do ensino, professores utilizam o espaço para ministrar aulas teóricas e práticas (saídas de campo), explorando este

“laboratório vivo”, em diferentes temáticas (meio físico, biótico e histórico-cultural) (UFMG, 2022).

No que diz respeito à extensão universitária, o Programa de Extensão Estação Ecológica é uma importante ferramenta que permite ampliar e fortalecer o diálogo com os diversos setores da sociedade, promovendo uma educação ambiental crítica. Nesse sentido, desde o ano 2000, o programa tem desenvolvido diversas atividades, dentre elas: oficinas ambientais, trilhas guiadas, colônia de férias e outros eventos variados (UFMG, 2022).

A EEco-UFMG é uma área riquíssima e muito utilizada pela comunidade interna e externa à Universidade como campo de desenvolvimento de pesquisas, especialmente nas áreas de ciências biológicas e de geociências. Possui também grande potencial e começa a ser mais explorada para desenvolvimento de trabalhos de outras áreas, como a arqueologia. Para melhorar o monitoramento, controle e acesso aos resultados das pesquisas, os procedimentos de solicitação, avaliação, aprovação e desenvolvimento dos trabalhos vêm sendo aprimorados ao longo dos últimos anos, especialmente com a criação Núcleo de Apoio Acadêmico em 2021 (UFMG, 2023).

2.1.4 *Histórico de Incêndios Florestais*

Por meio da análise de documentos, de produções científicas e da base de dados da EEco-UFMG, foram encontradas informações sobre incêndios florestais na área protegida, com referência a ocorrências a partir da década de 80. Porém, há grandes períodos de lacunas de registros de informações em alguns anos.

De acordo com Ribeiro (2007 *apud* Pont, 2008), em meados dos anos 80, a área onde atualmente se localiza a EEco-UFMG estava abandonada e havia se tornado um “bota-fora” da própria Universidade onde eram depositados restos de material de construção e de poda de árvores e de jardins. A grama e demais materiais secos ali depositados muitas vezes viraram combustível para incêndios florestais. Pessoas que transitavam pelo local realizavam corte da vegetação secundária e faziam manifestações religiosas com uso de velas acesas, provocando incêndios.

Neves (1998 *apud* Neves, 2002) constatou ocorrências frequentes de incêndios florestais na região sul da EEco-UFMG, onde há a presença de um eucaliptal, cuja causa provável foi atribuída à retirada de lenha pelas populações vizinhas à área protegida. A área faz limite com o Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo e foi utilizada em tempos remotos para atividades

agropastoris, havendo no local um pequeno bosque de eucaliptos com sub-bosque formado por capim colônia.

Segundo Neves (2002), em 2001 ocorreu um incêndio florestal, no mês de setembro, em que foram atingidos diferentes ecossistemas da EEco-UFMG, como uma área de Cerrado, que teve 50% de sua extensão queimada. Áreas com a presença de capins, eucaliptos e árvores frutíferas exóticas também foram atingidas pelo fogo. Neves (2002) relatou ainda, a presença de incêndios florestais no ambiente por ele classificado como área brejosa, localizado no quarteirão 14.

Registros fotográficos e vídeos do acervo da EEco-UFMG, datados de 28/03/2005, apontaram um incêndio ocorrido na região da Estação Meteorológica do INMET localizada na Estação Ecológica, conforme mostra a **Figura 4**.

Figura 4 - Fotos de incêndios florestais ocorridos na EEco-UFMG em 2005



Fonte: Acervo EEco-UFMG, 2005.

Em um dos vídeos, foi relatado que provavelmente o fogo teve origem no Anel Rodoviário e que houve combate às chamas por uma equipe de quatro bombeiros militares e funcionários da EEco-UFMG. Foi relatada também a preocupação de o fogo atingir um fragmento de mata estacional semidecidual, denominado Mata das Borboletas.

Foram localizados também registros fotográficos do ano de 2009, apontando a ocorrência de incêndios florestais na EEco-UFMG neste ano. Pela **Figura 5** é possível verificar uma área queimada em uma das imagens e na outra um recipiente de cerâmica, velas e uma garrafa, provavelmente utilizados em rituais religiosos, e que podem ser a causa do fogo sem controle.

Figura 5 - Fotos de incêndios florestais ocorridos na EEco-UFMG em 2009



Fonte: Acervo EEco-UFMG, 2009.

Segundo reportagem disponível no site da UFMG, em 24 de agosto de 2010, um incêndio atingiu parte da mata da EEco-UFMG. De acordo com o diretor do Departamento de Gestão Ambiental da universidade, Geraldo Mota, o fogo começou por volta das 17h e foi causado por um grupo de usuários de drogas que se alojaram há algum tempo no local.

Estima-se que a área queimada esteja em torno de 73 mil metros quadrados, o equivalente a sete campos de futebol. O fogo foi controlado pelos bombeiros com a cooperação da Pró-reitoria de Administração, que cedeu carro-pipa para as operações. Foi a terceira ocorrência de incêndio no mês de agosto e a causa de todos foi a mesma, o descuido de usuários de drogas. De acordo com Geraldo Mota, medidas já foram tomadas pela segurança para tirar os invasores, mas eles retornam. O acesso ao local tem sido facilitado, pois a área se encontra aberta devido à construção de uma barragem de contenção das águas da chuva na região (UFMG, 2010).

As fotos que compõem a **Figura 6**, a seguir, fazem parte do acervo da EEco-UFMG, são datadas de 24/08/2010 e provavelmente se referem ao incêndio florestal relatado na reportagem acima.

Figura 6 - Fotos de incêndios florestais ocorridos na EEco-UFMG em 2010



Fonte: Acervo EEco-UFMG, 2010.

De acordo com um arquivo de imagem de satélite presente no acervo da EEco-UFMG, contendo uma marcação/delimitação de área atingida por fogo, datada de 25/08/2014, neste ano novamente houve incêndio florestal na área, desta vez, próximo ao local onde foi instalada uma bacia de contenção de águas pluviais (Ver **Figura 7**).

Figura 7 - Imagem de delimitação de área atingida por fogo na EEco-UFMG em 2014

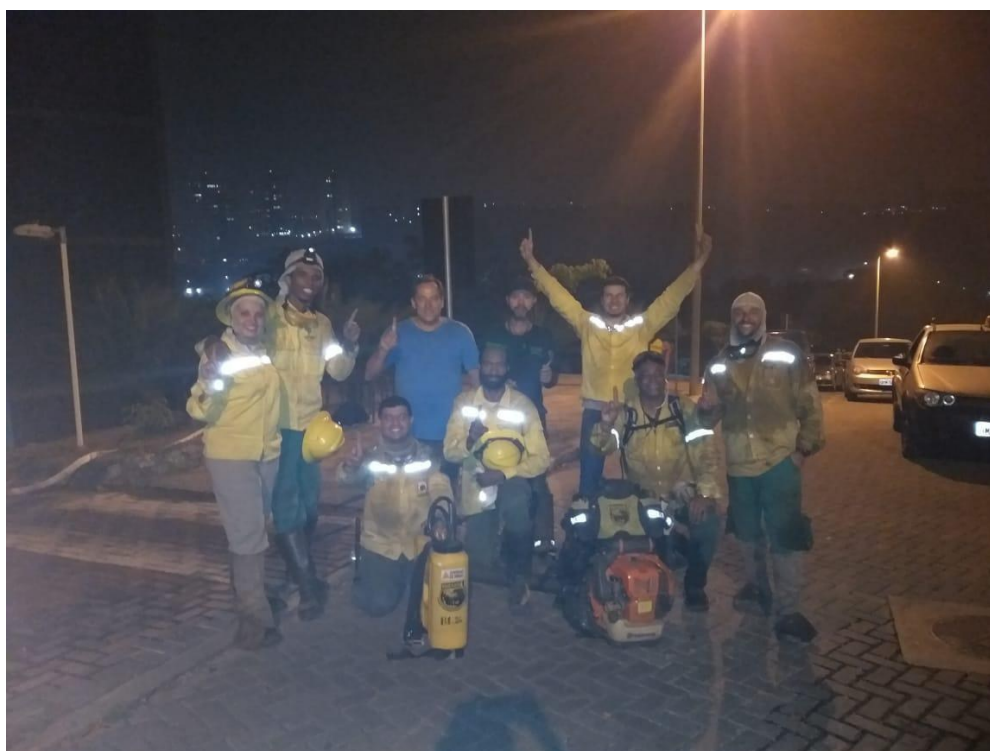


Fonte: Acervo EEco-UFMG, 2014.

Em 2019, em função dos frequentes eventos de incêndios florestais na EEco-UFMG, a Universidade celebrou uma parceria com a associação Brigada 1 (B1) que atua na prevenção e

no combate a incêndios florestais de forma voluntária desde 2003. A parceria foi formalizada por meio de um Protocolo de Intenções, com o objetivo de desenvolvimento conjunto de ações de prevenção e combate a incêndios florestais (UFMG, 2019). Em outubro deste ano, ocorreu um incêndio em vegetação de grandes proporções na área da EEco-UFMG localizada quarteirão 15, próximo ao Parque Tecnológico de Belo Horizonte (BH-Tec). A ocorrência teve início no período diurno adentrando a noite, momento em que associados voluntários da B1 começaram a atuar no combate direto para conter as chamas que avançavam em direção às estruturas físicas do BH-Tec (UFMG, 2020). A **Figura 8** mostra a equipe da B1 após o combate e extinção do incêndio.

Figura 8 - Voluntários da Brigada 1 após incêndio na EEco-UFMG (Outubro/2019)



Fonte: Acervo EEco-UFMG, 2019.

Desde então, a presença dos voluntários da Brigada 1 em ações de prevenção e combate a incêndios florestais na EEco-UFMG tem sido constante e fundamental. Em outubro de 2020, novamente, brigadistas voluntários da respectiva associação, juntamente com funcionários da universidade, combateram e debelaram um incêndio na área da EEco-UFMG, no mesmo local que foi atingido por um incêndio de maiores proporções em outubro de 2019 (UFMG, 2020). Em 2022 a região foi, mais uma vez, atingida por incêndios florestais. De acordo com o Boletim de Ocorrência nº 2022-037213926-001, do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais, em

25/08/2022 ocorreu no local um incêndio de grande proporção com vários focos, que demandou a atuação de várias equipes e equipamentos.

Em setembro de 2023 ocorreu um incêndio florestal de grandes proporções na área da Estação Ecológica da UFMG, localizada no quarteirão 15. Pelo menos 20 brigadistas da Brigada 1 foram mobilizados para o incêndio, além de outras organizações voluntárias como a Brigada Carcará e a Brigada Cipó. Também auxiliaram nas ações de enfrentamento ao incêndio servidores da universidade e brigadistas do Instituto Estadual de Florestas (IEF) do Estado de Minas Gerais (O TEMPO, 2023). De acordo com o Boletim de Ocorrência nº 2023-045012662-001, do CBMMG, a ocorrência atingiu uma grande área e demandou a utilização de diversos recursos, equipamentos, suprimentos, sendo necessária a instalação de um Sistema de Comando de Operações (SCO).

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Incêndios Florestais

3.1.1 *Conceitos, Causas e Impactos*

O fogo é um elemento natural do planeta Terra e sua utilização como uma ferramenta útil, que pode gerar diversos benefícios, ocorre há milhares de anos, tendo surgido com os primeiros humanos. Por outro lado, o fogo pode representar também uma ameaça quando utilizado indevidamente, causando incêndios florestais (Myers, 2006).

Para Bontempo (2006), os incêndios florestais podem ser definidos como a ocorrência do fogo sem controle em qualquer forma de vegetação, viva ou morta, e suas causas podem ser de origem natural ou antrópica, podendo causar diversos tipos de danos às florestas e à sociedade. De acordo com o Decreto nº 47.919, de 17/04/2020, é reforçada a definição de incêndio florestal como sendo o fogo sem controle em floresta e nas demais formas de vegetação (MINAS GERAIS, 2020).

Ao contrário do que o termo nos induz a pensar, o incêndio florestal não é somente o fogo que atinge uma floresta, é a ação do fogo sem controle em qualquer material combustível presente em uma pastagem, em uma floresta plantada ou em uma floresta natural ou nativa. Ou seja, é a ação do fogo sem controle sobre qualquer forma de vegetação, viva ou morta (Ribeiro; Ferreira, 2009).

Pelas definições apresentadas, é possível verificar que os incêndios florestais são um fenômeno que pode ocorrer em qualquer forma de vegetação e não somente nas florestas e, por esse motivo, pode-se utilizar também o termo “incêndios em vegetação” para definir a ocorrência do fogo sem controle nesse tipo de combustível.

Os incêndios florestais podem ter diversas causas, que podem ser agrupadas em categorias, de acordo com padrões, tal como define o Serviço Florestal dos Estados Unidos da América (FAO), como por exemplo: Raios: incêndios causados direta ou indiretamente por descargas elétricas atmosféricas; Incendiários: provocados intencionalmente por pessoas em propriedades alheias, podendo ocorrer em função de vingança, desequilíbrio mental, entre outras questões; Queimas para limpeza: tem origem no uso do fogo para limpeza de terrenos, que acaba escapando ao controle, por negligência ou descuido; Fogos de recreação e balões de festas; entre outras causas diversas (Soares; Batista; Tetto, 2017a).

Em sua grande maioria, os incêndios florestais são causados por ações humanas decorrentes de negligência ou ato criminoso. Em áreas rurais, estão frequentemente relacionados às atividades de renovação de pastagens e limpeza de restos de cultura. No meio urbano, as causas mais comuns dos incêndios são a queima de lixo doméstico, de folhas e restos de poda, o uso indevido do fogo para limpeza de terrenos, em manifestações religiosas, fogos recreativos, entre outras (Medeiros; Fiedler, 2004).

Para compreender os incêndios florestais, é necessário conhecer alguns processos inerentes ao fenômeno do fogo. Nesse aspecto, a combustão é uma reação química que ocorre entre um material combustível (vegetação) e um comburente (oxigênio), havendo liberação de energia em forma de calor. Para início e manutenção dessa reação é necessária uma fonte de ignição (calor) (Lorenzon *et al.*, 2018).

Combustão: Biomassa + O₂ + Energia de Ignição → CO₂ – H₂O + Energia (Calor)

A combustão, portanto, um é processo inverso ao da fotossíntese, atuando como agente de decomposição de biomassa, liberando a energia acumulada nos vegetais. A fotossíntese, por sua vez, é um processo por meio do qual o dióxido de carbono (CO₂), água (H₂O) e energia solar são combinados produzindo celulose e outros carboidratos (Biomassa), em um processo lento e contínuo, por meio do qual ocorre a liberação de oxigênio (O₂) (Soares *et al.*, 2017a).

Fotossíntese: CO₂ + H₂O + Energia Solar → Biomassa + O₂

Portanto, para que o fogo possa iniciar e se manter, é necessária a presença de três componentes: o calor (fonte de ignição), o comburente (oxigênio) e o combustível (vegetação). A relação entre esses elementos é conhecida como triângulo do fogo (**Figura 9**) e a retirada ou eliminação de um dos componentes dessa equação tem a capacidade de extinguir o fogo (ICMBIO, 2010).

Figura 9 - Triângulo do Fogo

Fonte: Soares; Batista; Tetto, 2017b.

No processo de combustão de um material lenhoso é liberada uma grande quantidade de energia, que é irradiada e aquece o ar do entorno, bem como os demais combustíveis próximos, principalmente aqueles localizados à frente do incêndio, de acordo com a direção de propagação das chamas. Esse aquecimento desidrata o material combustível próximo, o que permite a propagação e continuidade do fogo, cujo comportamento (direção, intensidade e velocidade) dependerá de fatores como o arranjo e a continuidade da vegetação, a topografia, a direção dos ventos, a umidade do ar e a umidade presente na vegetação, bem como a temperatura (IBAMA, 2010).

Ao se abordar os impactos causados pelo fogo, é necessário compreender que ele pode ser benéfico ou maléfico, ou seja, pode gerar impactos positivos ou negativos. Os impactos podem também ser diretos (relação de causa e efeito) ou indiretos (por meio de reações que são desencadeadas após a passagem do fogo) (Lorezon *et al.*, 2018).

O calor liberado pelo fogo do incêndio florestal é o responsável primário pelos efeitos mais imediatos sobre as plantas, animais e o solo. Os resíduos dos combustíveis queimados também afetam o solo e a qualidade do ar. A fumaça produzida, juntamente com o monóxido de carbono, hidrocarbonatos e outros gases são responsáveis por afetar a qualidade do ar. Alguns desses efeitos ocorrem de imediato e são facilmente identificados e outros ocorrerão em período maior de tempo, sendo mais difíceis de detectar (Soares; Batista; Tetto, 2017a).

Os incêndios florestais podem depreciar a qualidade do ar por meio do aumento da concentração de gases resultantes da combustão de biomassa, do aumento da nebulosidade em virtude da geração de fumaça, do aumento brusco da temperatura do ar e da interferência na umidade relativa ao afetar os processos de transpiração e evaporação. A liberação de cinzas, como o potássio pode afetar positivamente o solo de forma momentânea. Em contrapartida,

devido a maior exposição do solo, os processos erosivos podem ser potencializados. Já a elevação brusca da temperatura do solo e consequente perda de micro-organismos reduzirá sua fertilidade (Lorezon *et al.*, 2017).

O efeito mais perceptível efeito do fogo sobre a vegetação é o impacto nas árvores, pois até mesmo um incêndio de superfície é capaz de provocar a morte de mudas e pequenas árvores. Quando o fogo atinge a copa das árvores, o dano é ainda maior, podendo levar árvores adultas à morte ou deixar cicatrizes que facilitarão infecções por pragas e insetos. Kayll (1963 *apud* Soares; Batista; Tetto, 2017a) apontou que os tecidos vivos de diferentes espécies apresentam níveis similares de resistência ao calor, porém, o que determina a sobrevivência da planta é a espessura da sua casca, pois quanto mais grossa ela for, mais difícil será para o calor atingir seu câmbio, uma vez que será necessária uma quantidade maior de energia para transpor a barreira proporcionada pela casca (Soares; Batista; Tetto, 2017a).

Os impactos dos incêndios nos recursos hídricos também são diversos, tais como: elevação de turbidez decorrente do aporte de sedimentos advindos da erosão do solo, da deposição de material particulado (fuligem); eutrofização dos corpos hídricos provocada pelo aporte de sedimentos e; diminuição do abastecimento do lençol freático pela menor infiltração e percolação de água. Os impactos dos incêndios florestais na fauna podem variar por uma série de questões, tais como a intensidade, duração, frequência, forma e extensão. Os efeitos variam ainda em função da estação do ano, do tipo de combustível e propriedades do local. Os grandes e rápidos incêndios podem encurralar e matar animais silvestres e os ninhos de pássaros (Soares; Batista; Tetto, 2017a).

Além de provocar alterações nos diferentes componentes do ecossistema, o fogo pode afetar também a beleza cênica das áreas protegidas, provocar acidentes em rodovias, fechamento de aeroportos, atingir as redes de transmissão de energia causando sua interrupção e pode agravar problemas alérgicos e respiratórios (Bontempo, 2006). Mais recentemente, temos presenciado incêndios de grandes proporções ao redor do mundo que atingem casas e que causam mortes humanas.

Segundo Dias (2009), a fumaça e a fuligem provenientes dos incêndios florestais podem causar ainda, os seguintes danos à saúde humana: dores de cabeça; náuseas e tonturas; conjuntivites; irritação da garganta e tosse. O autor aponta também efeitos na economia, tais como: aumento dos atendimentos e gastos hospitalares, problemas de abastecimento de água, interrupção no fornecimento de energia, queda da produtividade agrícola e o comprometimento do transporte aéreo e rodoviário.

3.1.2 Fatores que Influenciam o Comportamento do Fogo

A forma como o fogo se comporta em determinado ambiente sofre influência direta de fatores como o clima, o material combustível presente na vegetação, o relevo e suas interações ao longo do tempo. É de fundamental importância entender como a relação e a interação entre esses fatores influenciam no comportamento do fogo para atuação efetiva na prevenção e no combate (Lorezon *et al.*, 2018).

O tempo atmosférico e o clima atuam diretamente nas plantas, animais e solo. O crescimento e desenvolvimento de plantas, bem como seus ciclos produtivos são determinados por fatores como temperatura e comprimento do dia, por exemplo. Numa perspectiva temporal de longo prazo, é necessário considerar que a ocorrência e a distribuição original das espécies na superfície da terra foram prioritariamente estabelecidas pelo clima (Soares; Batista; Tetto, 2015).

As condições climáticas exercem grande influência nas florestas e nos incêndios florestais. O efeito das variações dos elementos como a temperatura, a umidade relativa, o vento e a precipitação têm impacto decisivo na ignição e propagação dos incêndios. A temperatura, a umidade relativa e a precipitação interferem diretamente na umidade dos materiais combustíveis. Quando ocorrem as precipitações há um aumento na presença de umidade nos combustíveis. A umidade relativa do ar elevada também favorece na maior quantidade de umidade na vegetação. De forma contrária, temperaturas elevadas propiciam a desidratação dos materiais combustíveis, assim como os ventos, que também favorecem a secagem desses materiais. A velocidade e direção dos ventos influenciam ainda, na propagação (velocidade e direção) do fogo (Oliveira, 2002).

A distribuição dos incêndios ao longo do ano está diretamente ligada à sazonalidade das chuvas e as oscilações de temperatura no decorrer dos meses. Entender como funciona essa distribuição e os mecanismos que afetam a dinâmica dos incêndios florestais é fundamental para o planejamento da prevenção. No Brasil, a estação de incêndios florestais (período crítico) se estende geralmente de junho/julho a outubro/novembro (Soares; Batista; Tetto, 2017a).

Devido à sua vasta extensão territorial e da sua complexidade topográfica, o Brasil possui diferentes regimes de precipitação e uma grande variedade de climas, com diferentes aspectos regionais. A região sudeste, onde se localiza o objeto deste estudo, sofre influência de sistemas equatoriais, tropicais e de latitudes médias, possuindo estação seca bem definida no inverno e estação chuvosa no verão, tendo como característica uma grande frequência de chuvas convectivas (Rebouças; Braga; Tundisi, 2002).

A região Sudeste, em função do seu posicionamento latitudinal, é caracterizada por estar numa área de transição entre os climas quentes de latitudes baixas e os climas mesotérmicos, de tipo temperado, das latitudes médias. Nesta região, a precipitação média anual acumulada varia de 1.500 a 2.000 mm, apresentando o trimestre mais seco de junho a agosto e o trimestre mais chuvoso de dezembro a fevereiro (Nimer, 1989). A **tabela 2** apresenta os dados de início e final da estação chuvosa no Brasil em função da região.

Tabela 2 - Início e final da estação chuvosa no Brasil por região

Início e final da estação chuvosa no Brasil		
Região	Início	Final
Norte	Agosto-Dezembro	Junho
Nordeste	Fevereiro	Maio
Centro-Oeste	Setembro	Maio
Sudeste	Setembro-Outubro	Abril
Sul	Julho	Novembro

Fonte: Kousky (1998 *apud* Rebouças; Braga; Tundisi, 2002).

Devido ao sistema de monção da América do Sul, o Sudeste é uma região úmida no verão e seca no inverno. Os baixos totais pluviométricos no inverno estão associados à atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), pois nesta estação tal sistema alcança sua posição mais a oeste, se estendendo até a região sudeste do Brasil (Reboita *et al.*, 2010).

O relevo ou topografia do terreno também influenciam no comportamento do fogo. A altitude, a exposição solar e a inclinação (aclive ou declive) são fatores fundamentais que contribuem para definir a forma como o fogo se comportará. Em Minas Gerais a topografia do terreno é um fato que tem grande peso, pois muitas áreas protegidas estão localizadas na zona da mata ou na região metropolitana de Belo Horizonte, locais marcados por relevo montanhoso (Bontempo, 2006).

Quanto mais acidentado for um terreno (aclividade) mais rapidamente o fogo se alastra; regiões com inclinações acentuadas contribuem para regimes específicos de movimentação do ar (ventos, correntes de ar) que terminam contribuindo para a alimentação do fogo na vegetação; áreas planas, por sua vez, permitem ventos com maior velocidade (com consequente maior velocidade de propagação do fogo) (Dias, 2009).

Os efeitos da topografia sobre a propagação dos incêndios podem ser divididos em três fatores básicos, para melhor entendimento: elevação, exposição e inclinação. Locais com altas elevações apresentam ar mais rarefeito e temperaturas mais baixas, dessa forma, regiões com baixas elevações apresentam maior perigo de incêndio. A exposição ou direção da montanha em relação aos pontos cardeais também influenciam na ocorrência e propagação de um

incêndio. No hemisfério sul, há maior incidência de raios solares sobre as faces de montanha voltadas para o norte, recebendo mais calor do que as demais faces (oeste, leste e sul, respectivamente). Quanto maior for a exposição da face ao sol, maior a quantidade de energia recebida, maior temperatura e menor umidade relativa, secando o material combustível. A inclinação é o fator mais conhecido quanto à sua influência no comportamento do fogo, uma vez que a tendência é se propagar mais rapidamente nos aclives e de forma mais lenta nos declives. À medida que o grau de inclinação do terreno aumenta a velocidade de propagação também aumenta. Isso ocorre porque o fogo aquece o combustível da parte superior com auxílio da radiação e convecção do calor (Soares; Batista; Tetto, 2017a).

A combustão e a propagação do fogo também sofrem influência do combustível que está alimentando a queima. O material orgânico, presente no ambiente, composto pela vegetação (troncos, galhos, folhas, cascas, raízes, musgos, frutos e outros), vai determinar o comportamento do fogo, em função com sua composição e a forma como está distribuído (estado de decomposição, umidade e temperatura do material, arranjo, dentre outros) (Dias, 2009).

As características dos combustíveis (tamanho, espessura e diâmetro) ajudam a determinar a natureza do fogo. Quanto mais finos forem os elementos que compõem o material combustível, mais rápida será a perda de umidade e consequentemente, a dispersão do fogo acontecerá com maior velocidade. De forma contrária, combustíveis de maior tamanho e espessura demandarão uma quantidade maior de energia (calor) e tempo para desidratar e entrarem em combustão (Ribeiro; Ferreira, 2009).

De acordo com Ribeiro e Ferreira (2009), os combustíveis podem ser classificados em três classes, a saber: 1) de rápida combustão: composto por material leve, tais como folhas, pequenos galhos, pasto seco e arbustos; 2) de combustão lenta: compostos por materiais espessos como tocos, troncos e árvores e que geralmente apresentam combustão incompleta; 3) Combustível verde: material vivo contendo maior quantidade de água.

Há outras características fundamentais dos combustíveis que afetam o comportamento do fogo. A continuidade se refere à forma como o combustível está distribuído e quando há continuidade e homogeneidade nessa distribuição o fogo consegue avançar com facilidade e rapidez. A compactação está relacionada com a densidade dos combustíveis ou com a presença de espaços vazios entre eles. Quanto maior for a compactação haverá menos ar circulando, o que dificulta a secagem do material. Quanto maior a circulação de ar, mais facilmente ocorrerá a secagem e o processo de combustão. A quantidade de combustível presente no local do incêndio irá impactar na intensidade da ocorrência. A umidade presente na vegetação é fator

fundamental, pois influencia o processo de combustão, uma vez que, se o material estiver úmido ele somente entrará em combustão após a evaporação da água (Ribeiro; Ferreira, 2009).

3.1.3 *Legislação sobre Incêndios Florestais no Brasil*

Desde os primeiros atos normativos instituídos no Brasil a respeito dos incêndios florestal, constata-se um caráter geral de proibição do uso do fogo. A política de supressão do fogo no Brasil, chamada popularmente de “fogo zero” se respalda nesses diferentes instrumentos jurídicos da legislação do país, de caráter proibitivo do uso do fogo, conforme apresentado a seguir.

O Decreto nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934, que aprovou o primeiro código florestal brasileiro proibia o uso não autorizado do fogo, conforme estabelecia seu artigo 22:

É proibido mesmo aos proprietários [...] deitar fogo em campos, ou vegetações, de cobertura das terras, como processo de preparação das mesmas para a lavoura, ou de formação de campos artificiais, sem licença da autoridade florestal do lugar, e observância das cautelas necessárias, especialmente quanto a aceiros, aleiramentos e aviso aos confinantes (Brasil, 1934).

Todavia, esta legislação não trazia a forma como deveria se dar o processo de licenciamento para o uso de fogo e previa em seu artigo 83 que colocar fogo em florestas do domínio público, em propriedades privadas, em produtos e subprodutos florestais constituam crime passível de prisão e multa.

Em 1965 o código florestal brasileiro foi reeditado na forma da Lei nº 4.771, a qual trazia também a obrigatoriedade de autorização para uso do fogo:

Art. 27 - É proibido o uso de fogo nas florestas e demais formas de vegetação. Parágrafo único. Se peculiaridades locais ou regionais justificarem o emprêgo do fogo em práticas agropastoris ou florestais, a permissão será estabelecida em ato do Poder Público, circunscrevendo as áreas e estabelecendo normas de precaução (Brasil, 1965).

O uso do fogo somente teve normas estabelecidas em 1989, com a promulgação do Decreto nº 97.635, que regulamentou o artigo 27 do Código Florestal e dispôs sobre a prevenção e combate a incêndio florestal, além de dar outras providências, conforme transcrito a seguir:

Art. 1º Incêndio florestal é fogo sem controle em qualquer forma de vegetação.
§ 1º É proibido o uso do fogo sem controle nas florestas e demais formas de vegetação, bem assim qualquer ato ou omissão que possa ocasionar incêndio florestal.

§ 2º Quando peculiaridades locais ou regionais justificarem, o emprego do fogo, na forma de queima controlada, em práticas agropastoris ou florestais, poderá ser permitido, circunscrevendo as áreas estabelecidas às normas de precaução.

§ 3º Compete ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis estabelecer as condições de uso do fogo, sob a forma de queima controlada (Brasil, 1989).

Outro regulamento importante, anterior ao decreto de 1989, foi o Decreto nº 84.017 de 21 de setembro de 1979. Sua importância se dá pois, ele se constitui como a primeira norma a regulamentar o uso do fogo em uma área protegida (em parques nacionais, no caso):

Art 23 - É expressamente proibida a prática de qualquer ato que possa provocar a ocorrência de incêndio nas áreas dos Parques Nacionais.

Parágrafo Único - O fogo só será usado como técnica de manejo, quando indicado no Plano de Manejo (Brasil, 1979).

Neste mesmo caminho, em 1988, a Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) publicou a resolução nº 11/1988 dispondo sobre as queimadas de manejo nas Unidades de Conservação:

Art. 3º A utilização do fogo como elemento de manejo ecológico de campos, cerrados e outros tipos de savana, adaptados à ocorrência de incêndios periódicos, deve ser precedida de estudos de impacto ambiental, com a indicação das cautelas necessárias, e efetuada de modo a manter a queimada sempre sob controle.

§ 1º As queimadas de manejo não deverão ultrapassar em cada ano, o equivalente a 20% da área total da Unidade de Conservação.

§ 2º As queimadas de manejo deverão ser conduzidas de modo a evitar que os animais vertebrados fiquem em qualquer momento cercados pelo fogo, ou que sejam impelidos a sair da Unidade de Conservação.

§ 3º As queimadas de manejo somente poderão ser feitas em horas e ocasiões em que a umidade do ar seja relativamente elevada, e quando não soprarem ventos que possam avivar as chamas.

§ 4º Durante as queimadas de manejo deve haver sempre de prontidão um grupo de pessoas, com veículos e equipamentos necessários para o combate às chamas de modo a assegurar o seu controle eficaz.

§ 5º Não serão feitas queimadas de manejo em áreas florestais das Unidades de Conservação, exceto se para isso houver autorização expressa do CONAMA (CONAMA, 1988).

Em 1998 foi publicado o Decreto nº 2.661 de 08 de julho, que revogou o Decreto nº 97.635/1979 e definiu que para o uso do fogo para práticas agrosilvopastoris seria necessária autorização de queima controlada e conceituou esse termo:

Art 2º Observadas as normas e condições estabelecidas por este Decreto, é permitido o emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais, mediante Queima Controlada. Parágrafo único. Considera-se Queima Controlada o emprego do fogo como fator de produção e manejo em atividades agropastoris ou florestais, e para fins de pesquisa científica e tecnológica, em áreas com limites físicos previamente definidos.

[...]Art 3º O emprego do fogo mediante Queima Controlada depende de prévia autorização, a ser obtida pelo interessado junto ao órgão do Sistema Nacional do Meio

Ambiente - SISNAMA, com atuação na área onde se realizará a operação (Brasil, 1998).

O Decreto nº 2.661/1998 trouxe ainda a previsão de uso do fogo em ações de manejo de ecossistema, prevenção e combate a incêndio florestal, da seguinte forma:

Art 21. Ocorrendo incêndio nas florestas e demais formas de vegetação, será permitido o seu combate com o emprego da técnica do contrafogo.

Art 22. Será permitida a utilização de Queima Controlada, para manejo do ecossistema e prevenção de incêndio, se este método estiver previsto no respectivo Plano de Manejo da unidade de conservação, pública ou privada, e da reserva legal (Brasil, 1998).

Após 14 anos da publicação do Decreto nº 2.661/1998, a temática do uso do fogo em áreas protegidas somente sofre alterações com a publicação do novo código florestal brasileiro, na forma de Lei de Proteção à Vegetação Nativa, Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012:

Art. 38 - É proibido o uso de fogo na vegetação, exceto nas seguintes situações: [...]

II - emprego da queima controlada em Unidades de Conservação, em conformidade com o respectivo plano de manejo e mediante prévia aprovação do órgão gestor da Unidade de Conservação, visando ao manejo conservacionista da vegetação nativa, cujas características ecológicas estejam associadas evolutivamente à ocorrência do fogo. [...]

Art. 40 - O Governo Federal deverá estabelecer uma Política Nacional de Manejo e Controle de Queimadas, Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais, que promova a articulação institucional com vistas na substituição do uso do fogo no meio rural, no controle de queimadas, na prevenção e no combate aos incêndios florestais e no manejo do fogo em áreas naturais protegidas (Brasil, 2012).

No âmbito do Estado de Minas Gerais, o uso de fogo para fins de prevenção e de combate a incêndios florestais no interior e no entorno de Unidades de Conservação do Poder Público estadual foi regulamentado por meio do Decreto nº 47.919 em 17 de abril de 2020:

Art. 1º – As práticas de manejo do fogo para fins de prevenção e de combate a incêndios florestais em Unidade de Conservação, instituídas pelo Poder Público estadual, passam a reger-se pelas normas estabelecidas neste decreto.

Art. 2º – O manejo do fogo para as finalidades de que trata este decreto não exclui a necessidade prévia de adoção de medidas de proteção dos recursos hídricos, da fauna e da flora existentes na área, excetuados os recursos vegetais visados no manejo (Minas Gerais, 2020).

O Decreto nº 47.919/2020 trouxe uma importante vinculação do uso do fogo aos ecossistemas que evoluíram com a presença do mesmo e ainda conceituou o manejo do fogo e as práticas a ele relacionadas:

Art. 3º – O manejo do fogo, quando utilizado com finalidade preventiva de incêndio florestal, deverá respeitar a relação de dependência evolutiva do fogo na fitofisionomia onde será empregado ou atender ao manejo de combustíveis exóticos.

Art. 4º – Para os fins deste decreto considera-se:

[...] II – manejo de fogo para fins de prevenção ou de combate a incêndio florestal: prática que envolve o uso intencional de fogo para manejo de vegetação, nativa ou exótica, abrangendo as técnicas de aceiro negro, de fogo de supressão ou equivalentes, com vistas a reduzir a ocorrência ou a severidade dos incêndios florestais, bem como de combatê-los, quando em propagação;

[...] VI – fogo de supressão: uso de fogo que envolve a queima intencional da vegetação como estratégia de combate, de forma planejada, monitorada e controlada, visando manejar a parcela disponível para a queima em incêndio florestal em propagação, a fim de deter o fogo pela ausência de material combustível;

VII – queima prescrita: uso de fogo para o manejo da vegetação com fins de prevenção a incêndio florestal, em área definida e sob condições específicas, de forma planejada, monitorada e controlada, mediante o Plano de Queima Prescrita (Minas Gerais, 2020).

Na esfera da legislação municipal de Belo Horizonte, o Decreto nº 16.529 de 29 de dezembro de 2016, que dispõe sobre a Política Municipal de Controle e Fiscalização das Fontes Poluidoras e dá outras providências referentes à Política Ambiental do Município, traz a seguinte normativa:

Art. 54 É proibido qualquer ato que possa provocar incêndio em terrenos ou em qualquer categoria de área verde.

Parágrafo único. No caso de incêndio em área verde, o responsável apresentará e executará projeto de recuperação da área queimada, sem prejuízo das penalidades aplicáveis (Belo Horizonte, 2016).

A questão o uso do fogo para fins de prevenção e combate a incêndio florestal vem sendo discutida no âmbito do Conselho Municipal de Meio Ambiente de Belo Horizonte (COMAM). Em reunião realizada em 30/03/2022, o Presidente Suplente do Conselho, sugeriu que fosse criado um grupo de trabalho para elaboração de uma proposta de minuta a ser analisada pelo COMAM para criação do Manejo Integrado do Fogo (MIF) para o município de Belo Horizonte como uma medida de prevenção e de combate aos incêndios florestais na cidade (COMAM, 2022a).

Em reunião do COMAM, realizada em 14/12/2022, foi apresentada uma proposta de prevenção e combate a incêndios florestais por meio do emprego do MIF, que utiliza a queima prescrita para evitar incêndios em áreas sensíveis. Foi esclarecido que a queima é o uso do fogo de forma controlada, enquanto o incêndio é descontrolado. Com a queima é possível, após a passagem do fogo, estudar seu comportamento no local e a interação com a fauna, além de evitar incêndios em épocas recorrentes do ano. Foi exposta a necessidade de alteração do Decreto nº 16.529/2016 e reforçada a urgência da regulamentação do uso do fogo através de um instrumento jurídico municipal e da criação de portaria da Secretaria Municipal de Meio

Ambiente (SMMA) sobre o procedimento para requerer o MIF como estratégia de prevenção a incêndios florestais. Fizeram uso da palavra, os Conselheiros Nancy Rebouças e Márcio Croso, que sugeriram a criação de um projeto piloto, e o Professor José Eugênio da UFMG para auxiliar nos trabalhos (COMAM, 2022b).

3.2 O Manejo Integrado do Fogo

Para Kaufmann *et al.* (2003 *apud* Myers, 2006) o Manejo Integrado do fogo (MIF) pode ser entendido como uma integração entre ciência e sociedade com as tecnologias de manejo do fogo, em diferentes níveis, sendo imprescindível uma abordagem abrangente (holística) das questões relacionadas ao fogo, passando pelas interações biológicas, ambientais, culturais, socioeconômicas e políticas.

Myers (2006) aponta que o termo Manejo Integrado do Fogo não é algo novo, porém, foi utilizado de forma limitada, ou até mesmo equivocada, em determinados contextos. Para o autor, o MIF pode ser definido como:

... uma abordagem para enfrentar os problemas e as questões apresentadas pelos malefícios e benefícios do fogo dentro do contexto dos ambientes naturais e dos sistemas socioeconômicos nos quais ocorrem, pela avaliação e equilíbrio dos riscos relativos apresentados pelo fogo, e o papel benéfico ou ecológico necessário e econômico que pode desempenhar em uma determinada área de conservação, da paisagem ou da região. O Manejo Integrado facilita a implementação de abordagens que analisam o custo-benefício evitando os incêndios danosos e mantendo o regime de fogo adequado” (Myers, 2006, p. 9).

O termo **manejo** é entendido como o conjunto de ações e práticas que envolvem o uso e combate ao fogo, que visam alcançar objetivos específicos de conservação. O termo **integrado** remete à necessidade de compreender as questões do fogo em conjunto e de forma associada com os conhecimentos tradicionais, técnicos e científicos, evidenciando a necessidade de desenvolver múltiplas perspectivas nos diagnósticos e processos de decisão. O **fogo**, por sua vez, é tido como um fenômeno natural, profundamente influenciado pela ação humana, podendo apresentar regimes inadequados/indesejados, gerando malefícios. Por outro lado, há também regimes de fogo coerentes com os objetivos de conservação e das comunidades, que podem gerar benefícios, a depender do contexto e da percepção de diferentes grupos e atores sociais. A decisão quanto ao uso ou exclusão do fogo, bem como as técnicas a serem utilizadas em um determinado ambiente deve ser tomada com base na análise e avaliação desses diferentes interesses e percepções (ICMBIO, 2022).

O MIF envolve a integração de três dimensões que devem ser avaliadas em conjunto para alcançar resultados positivos, que são: 1) **manejo do fogo**, por meio de três componentes técnicos (prevenção, supressão e uso do fogo); 2) **ecologia do fogo**, que abrange os atributos ecológicos vitais do fogo e o regime de fogo ecologicamente adequado e; 3) **Cultura do fogo**, abarcando as necessidades socioeconômicas e culturais do uso do fogo juntamente com os impactos negativos que as queimas inadequadas podem gerar para a sociedade. Estes três aspectos do Manejo Integrado do Fogo podem ser ilustrados por outro triângulo: o Triângulo do Manejo Integrado do Fogo (**Figura 10**).

Figura 10 - Triângulo do Manejo Integrado do Fogo



Fonte: Myers, 2006.

Esta abordagem de gestão do fogo vem sendo adotada com êxito em diversos lugares do mundo, em diferentes contextos e cenários, com objetivo minimizar as consequências negativas do fogo sem controle nos ambientes naturais e para a sociedade. A aplicação do MIF proporciona, inclusive, a redução das emissões de gases de efeito estufa ao ajudar na prevenção dos grandes incêndios e promovendo regimes mais adequados de fogo nos lugares em que a biota apresenta histórico de evolução com ele relacionada (ICMBIO, 2022).

3.2.1 *Ecologia do Fogo (Atributos Ecológicos do Fogo)*

A temática do fogo tem ganhado cada vez mais atenção pelos responsáveis pela gestão áreas protegidas e por pesquisadores devido ao aumento da intensidade e os danos causados pelos incêndios florestais. Porém, há ecossistemas em que a presença do fogo pode ser benéfica

e até necessária para a conservação de espécies nativas, para os habitats dos animais e para a paisagem. Esses ecossistemas podem ser denominados de dependentes do fogo. Contudo, existem também ecossistemas denominados sensíveis ao fogo em que a presença do fogo afeta drasticamente o seu equilíbrio, podendo causar a destruição ou extinção de espécies nativas e seus habitats (Soares; Batista; Tetto, 2017a).

A análise do fogo como um tema de conservação requer a compreensão dos diferentes papéis que o fogo pode desempenhar em diferentes ecossistemas. Há quatro grandes categorias de resposta ao fogo em função dos ecossistemas: 1) Os dependentes do fogo; 2) Os sensíveis ao fogo; 3) Os independentes do fogo e; 4) Os influenciados pelo fogo (Hardesty *et al.*, 2005 *apud* Myers, 2006). Essa categorização é uma forma de ilustrar e estudar o tema, fazendo-se necessário entender de que muitos ecossistemas ou tipos de vegetação não se enquadram plenamente nessas classificações e que dentro de um mesmo bioma há diferentes fitofisionomias e arranjos que afetam a dinâmica e as respostas à passagem do fogo.

Os **ecossistemas dependentes do fogo** são aqueles que evoluíram com a presença do fogo, cujas espécies desenvolveram adaptações para reagir positivamente à passagem do fogo, facilitando sua propagação. Nesses ecossistemas, o fogo é essencial e há a presença de plantas propiciam a ocorrência desse fenômeno, sendo mais inflamáveis. Podem ser denominados também de sistemas adaptados ou mantidos pelo fogo e caso ocorra supressão ou alteração do regime de queima eles se modificam, podendo ocorrer perda de habitats e de espécies (Myers, 2006).

Esta categoria de ecossistema (dependente do fogo) ocorre com grande abundância em todo o mundo: na América Central há uma grande variedade de florestas e savanas de pinheiros dependentes do fogo; No Sudeste e Sul da Ásia ocorrem espécies de *Pinus* adaptadas ao fogo formando extensas florestas abertas e bosques em ambientes tropicais (Myers, 2006). A África tem sido chamada, de forma recorrente, como o “continente do fogo” porque grande parte da África localizada abaixo do Saara foi, no passado, uma vasta savana tropical e subtropical propensa ao fogo, com presença de matas e savanas influenciadas pelo fogo, formadas a partir de uma longa história de interação humana com o fogo e o ambiente (Komarek, 1971 *apud* Myers, 2006).

Uma porção significativa da América do Sul, situada na mesma faixa bioclimática da Savana Africana, permite que o continente sul-americano também possa ser chamado de continente do fogo. O Cerrado Brasileiro, localizado nessa mesma zona, é um bioma composto por um mosaico de savana e arbustos, que foi estabelecido por uma diversidade de regimes de fogo, e que cobria aproximadamente 20% do país (Miranda, *et al.*, 2002).

Matas e savanas de palmeiras são facilmente encontradas em toda região tropical, bem como uma grande variedade de campos inundados que ocorrem nesses tipos de vegetação e que são dependentes ou influenciados pelo fogo. As florestas, arbustos e savanas do mediterrâneo, amplamente dispersas em várias partes do mundo, também são muito dependentes do fogo, tais como: florestas boreais e de coníferas das zonas temperadas; florestas de carvalho e campos gramíneos da América do Norte, Ásia Central, China, Rússia e Mongólia; e as florestas de eucaliptos, savanas e os pântanos da Austrália (Myers, 2006).

Os **ecossistemas sensíveis ao fogo** não evoluíram com a presença do fogo e por esse motivo, as espécies neles presentes não desenvolveram adaptações contra o fogo e, portanto, são sensíveis não resistindo, nem mesmo, à passagem de incêndios de baixa intensidade. De forma geral, a estrutura da vegetação tende a inibir a presença do fogo, porém, quando esses ecossistemas são fragmentados por ações humanas e o material combustível é alterado e ocorre um aumento na frequência das ignições, o fogo passa a ser um problema. Quando isso ocorre, as Florestas Tropicais tornam-se savanas de gramíneas. Como exemplo de ecossistemas sensíveis ao fogo há diversos tipos de florestas latifoliadas tropicais e subtropicais (Myers, 2006).

Nos **ecossistemas independentes do fogo**, ocorre uma influência pouco expressiva, insignificante ou desnecessária, pois estão localizados em regiões extremamente frias, muito úmidas ou secas demais para queimar, a exemplo dos desertos, das tundras e das florestas tropicais em ambientes que não apresentam uma estação definida. Nesses locais, o fogo passa a ser uma ameaça somente se sofrer alterações bruscas em decorrência do uso da terra, entrada de espécies exóticas invasoras ou mudanças climáticas (Hardesty *et al.*, 2005 *apud* Myers, 2006)

Os **ecossistemas influenciados pelo fogo** geralmente estão presentes nas zonas de transição entre os ecossistemas dependentes e os sensíveis ao fogo. É composto por vegetação em geral sensível ao fogo, mas apresenta também algumas espécies capazes de responder de forma positiva à passagem do fogo. A passagem do fogo nesses ecossistemas favorece a criação de habitats com abundância de espécies que vão atuar na manutenção da biodiversidade. Como exemplos destes ecossistemas podemos citar: as florestas esclerófilas entre as savanas e as florestas tropicais úmidas; as vegetações de mata de galeria presentes ao longo dos cursos d'água nas savanas ou em campos gramíneos; ilhas de vegetação sensível ao fogo dentro de uma matriz propensa ao fogo como alguns padrões encontrados no pantanal brasileiro (Myers, 2006).

3.2.2 O papel do Fogo no Cerrado

Conforme apresentado por Myers (2006), das quatro categorias de ecossistemas propostas pelo autor em função da relação evolutiva destes com o fogo, dois tipos de ecossistemas evoluíram com a presença do fogo e desenvolveram adaptações para resistir e/ou se beneficiarem deste fenômeno, que são: Os dependentes do fogo, no qual se enquadra o Cerrado Brasileiro e; Os influenciados pelo fogo, que estão presentes nas zonas de transição entre ecossistemas dependentes e ecossistemas sensíveis ao fogo.

De modo geral, assim como acontece nos demais biomas, um dos principais fatores que regula e define o complexo vegetacional do Cerrado é o clima. Contudo, há outros fatores importantes que atuam na composição da vegetação e, no Cerrado, o solo e o fogo têm papéis primordiais. Cabe salientar, que o termo Cerrado abrange todas as formações vegetais nele presentes, juntamente com as fitofisionomias que as compõem, tais como: florestas (trecho com predominância de árvores); savanas (árvores esparsas sem formação de dossel, com presença de estrato graminoso) e; campos (predomínio de plantas herbáceas) (Miranda, 2010). Alguns autores, a exemplo de Rizzini (1997 apud Miranda, 2010), além de fatores como o clima, os solos, a hidrologia e a geomorfologia, apontam a frequência de incêndios, o pastejo e outros fatores antrópicos, como atividades agropecuárias, extração de madeira, manejo de pastagens por meio de queimadas, como fortes influenciadores da distribuição da vegetação no bioma Cerrado.

Portanto, até mesmo nas fitofisionomias de florestas presentes no cerrado, o fogo pode ter papel benéfico. De acordo com Coutinho (1992 apud Miranda 2010), “uma queimada em Cerrado não causa o mesmo dano que causaria em uma floresta tropical úmida”. Diferente do que prega o senso comum, o fogo pode ser agente regulador e condicionante de fitofisionomias de cerrado em sentido amplo, pois várias espécies de plantas presentes neste bioma dependem do fogo em diferentes aspectos de seus ciclos de vida. A exclusão do fogo desses ambientes acarreta alterações que modificam a sua diversidade (Miranda, 2010).

Porém, mesmo nos ambientes dependentes do fogo, há diversos fatores que combinados vão determinar se uma queimada será benéfica ou se causará prejuízos ao ecossistema. Dependendo da época de ocorrência do fogo, por exemplo, haverá mais impactos negativos caso ocorram no final do período de estiagem. O horário do dia impactará na intensidade do fogo em função da umidade, uma vez que nos momentos de maior incidência de raios solares, haverá menor presença de umidade no ar. A força e a direção dos ventos também impactam na severidade das queimas. O excesso de queimas em condições desfavoráveis pode resultar em

perda de biodiversidade, mesmo em ambientes adaptados ao fogo (Collinson, 1988 *apud* Miranda, 2010).

Este conjunto de características do fogo, tais como a frequência, a intensidade, a época em que ocorre, a extensão de área atingida, e suas interações com o ambiente ao longo do tempo cronológico, determinam o regime de fogo de um determinado ecossistema.

O regime de fogo é definido como um conjunto de condições recorrentes do fogo que caracterizam um determinado ecossistema. Essas condições podem ser resumidas como a variação específica que mostra a frequência, o comportamento do fogo, a severidade, a época de queima e a extensão da queimada, o padrão de propagação do fogo e da distribuição da queimada. Eliminar e aumentar as queimadas, ou alterar ou restringir um ou mais dos componentes do regime de fogo, de uma forma em que a variação de variabilidade de um dado ecossistema não seja mais apropriada, com isso o ecossistema sofrerá transformações – habitats e espécies se perderão (Myers, 2006, p. 8).

Entre os benefícios que a presença do fogo pode causar nos ambientes de cerrado podem ser citados: o enriquecimento de trechos de Cerrado *stricto sensu*, de matas de galeria, e de floresta estacional semidecídua; estímulo para a reprodução de inúmeras plantas; efeitos piromorfofogenéticos como a floração após passagem do fogo. Diante do exposto, é possível afirmar que o fogo afeta a distribuição e a biodiversidade nas savanas, influenciando as zonas ou faixas de vegetação atingidas por queimadas e resultando na redução de biomassa de modo geral. O fogo afeta de forma mais intensa as paisagens florestais, como as matas de galeria, do que as savanas e campos, porém, permite que grupos vegetais mais adaptados ganhem vantagem competitiva (Miranda, 2010).

3.2.3 *Cultura do Fogo (Necessidades e Impactos Socioeconômicos)*

O Manejo Integrado do Fogo possui um importante componente que é o reconhecimento e o entendimento de como o uso do fogo pelos humanos pode desempenhar um importante papel em certas paisagens. É necessário avaliar se as práticas atuais de queimadas estão ou não em conflito com os objetivos de conservação (Myers, 2006).

Desde os tempos mais remotos da história o fogo despertou nos humanos uma atração que os levou a associá-lo a um poder místico e desde então começaram a se criar mitos e lendas a ele relacionados. Ocorreu a inclusão do fogo em rituais religiosos, comemorações e diversões, o que perdura até a atualidade como, por exemplo, na queima de velas em rituais religiosos, os fogos de artifício e o uso de fogueiras em festas juninas (Soares; Batista; Tetto, 2017a).

O fogo é uma das ferramentas mais antigas utilizadas pela humanidade para manejo de paisagens e ocupação da terra. A descoberta de como dominar o seu uso, segundo antropólogos, é um dos principais fatores que possibilitaram a espécie humana prosperar em regiões frias e temperadas. Desde então, o fogo vem sendo fundamental em diversos aspectos, tais como: na preparação de alimentos; na fusão de metais para produção de ferramentas; na preparação de terras para plantações (Lorezon *et al.*, 2018).

O uso do fogo para limpeza e preparação da terra para o cultivo agrícola, para encerrar a caça, para abrir passagem na vegetação e até mesmo como ferramenta de guerra, ocorre desde o início da civilização. De acordo com Chandler *et al.* (1983 *apud* Soares; Batista; Tetto, 2017a), o fogo ainda é usado com os mesmos propósitos e, em alguns casos, da mesma forma utilizada pelos nossos ancestrais.

Em muitos países, o fogo é ainda o meio mais utilizado para a preparação (limpeza) da terra para plantios, seja para renovação de pastagem ou para a agricultura. Comparativamente a outros métodos mecânicos, o fogo tem a vantagem de disponibilizar nutrientes, que serão aproveitados pela cultura a ser plantada nos estágios iniciais de crescimento, em decorrência do processo de transformação de matéria orgânica que a queima produz. Desde que aplicada corretamente, a queima controlada é uma forma menos destrutiva de preparar o solo do que os meios mecanizados (Soares; Batista; Tetto, 2017a).

Em ecossistemas dependentes do fogo, as populações desempenham um papel histórico na criação, na preservação, na expansão ou na mudança dos ecossistemas. Muitas destas alterações, atualmente, são desejáveis para a conservação, visto que as queimadas realizadas pelos seres humanos criaram paisagens que hoje são alvos de proteção ambiental (Myers, 2006). Por outro lado, pode estar acontecendo situações bastante antagônicas no uso tradicional do fogo: 1) Devido ao crescente aumento populacional, os níveis das queimadas podem estar acima da capacidade de resiliência dos ecossistemas em alguns locais; 2) Devido aos esforços de prevenção e supressão do fogo, principalmente pela legislação proibitiva, em outras situações as queimadas se reduziram drasticamente, resultando em um perigoso acúmulo de combustível.

Trazendo alguns exemplos de usos tradicionais do fogo, a Austrália se destaca por incorporar o conhecimento das populações tradicionais sobre o uso do fogo no manejo das áreas protegidas de modo geral. A participação direta dos aborígenes na concepção e execução das ações de manejo é fundamental (Barradas *et al.*, 2020). Porém, os interesses e objetivos de conservação e das comunidades nem sempre estiveram alinhados, a exemplo do Parque Nacional de Kakadu, cujas práticas de queimadas aborígenes não eram coerentes com as metas de biodiversidade. Para essa cooperação acontecer foi necessário superar desafios presentes nos

diferentes pontos de vista e de perspectivas culturais dos gestores do meio ambiente e dos povos tradicionais (Keith et al., 2002 *apud* Myers, 2006).

Na África do Sul, a participação comunitária no manejo do fogo nos parques nacionais ainda é uma abordagem a ser disseminada, pois ao término do apartheid não ocorreu um processo de reinserção dos povos e comunidades tradicionais nas unidades de conservação. Apesar de nos últimos anos acontecerem iniciativas para envolver comunidades vizinhas de forma mais efetiva na gestão dos parques, há ainda um longo caminho a ser percorrido. (Mabunda *et al.*, 2003 *apud* Barradas *et al.*, 2020).

No contexto da América do Sul, ocorre um conflito entre ecologistas, gestores de terras e os povos indígenas no Parque Nacional da Canaima, na Venezuela, que é formado por um conjunto de campos naturais propensos ao fogo e de floresta tropical úmida, sensíveis a queimadas. Os povos indígenas Pemon que vivem em áreas do parque, usam o fogo nas savanas para melhorar vias de acesso, para práticas de caça e comunicação, realizando as queimas quando ainda há umidade na vegetação, sem atingir as áreas de florestas. Esse manejo de combustível nas áreas de savana impede que incêndios florestais atinjam os ambientes sensíveis na época da estiagem, protegendo-os. Porém, na visão dos gestores a savana se mantém por processos ligados ao solo, desconsiderando a ação do fogo para manutenção deste bioma (Myers, 2006).

No Brasil a implementação do MIF em conjunto com a criação de brigadas indígenas, apresentaram excelentes resultados ao conciliar aspectos sociais, culturais e ecológicos às consagradas técnicas de prevenção e combate a incêndios florestais. Tal união possibilitou o resgate de conhecimentos tradicionais que vinham se perdendo em função da política de fogo zero e validou técnicas ancestrais de manejo. Esta iniciativa permite constatar que parte das soluções para os problemas atuais podem se respaldar em iniciativas simples e de baixo custo. (Falleiro *et al.*, 2016).

3.2.4 Manejo do Fogo (Prevenção, Supressão e Uso do Fogo)

O manejo do fogo refere-se ao conjunto de decisões técnicas e ações possíveis com o objetivo de evitar, preservar, controlar ou utilizar o fogo em uma determinada paisagem. É a adoção adequada das medidas de prevenção, da supressão e do uso do fogo e das ferramentas que abordem os problemas dos incêndios. Quando os benefícios do uso do fogo forem maiores do que os riscos de danos, deverá predominar seu uso estratégico. Caso os aspectos prejudiciais

do uso do fogo se sobreponham aos seus benefícios, deve-se adotar as estratégias de prevenção e de supressão (Myers, 2006).

O uso do fogo de forma controlada pode ser uma prática benéfica para se alcançar diversos objetivos no manejo florestal. Todavia, o emprego do fogo somente deve ocorrer após realização de diagnósticos e estudos cuidadosos, que apontem que ele é mais seguro, eficiente, barato e mais vantajoso do que outras técnicas de manejo. Dentre os diversos usos do fogo controlado no manejo da cobertura vegetal, evidenciam-se o seu emprego na silvicultura, na prevenção e combate aos incêndios florestais, no manejo de pastagens, no manejo de fauna silvestre, no controle de pragas e doenças, na limpeza da terra para o cultivo agrícola e florestal, entre outros (Brown; Davis, 1973).

O fogo pode ser empregado de diferentes formas na prevenção de incêndios, como por exemplo, na construção e manutenção de aceiros e na redução de material combustível. Nas ações de combate, o fogo pode ser utilizado, por exemplo, nas técnicas de contrafogo. Os combustíveis fazem parte dos ambientes florestais. Folhas, arbustos, gramíneas, resíduos de exploração humana e árvores caídas podem resultar em acumulação de combustível, o que pode agravar a intensidade e a proporção dos incêndios florestais, caso estes ocorram em situações em que as condições meteorológicas, como baixa umidade, altas temperaturas e alta velocidade do vento também estejam presentes (Soares; Batista; Tetto, 2017a).

A gestão do material combustível, no entanto, é complexa e de forma geral apresenta altos gastos financeiros. A utilização de meios químicos ou mecânicos para remoção do combustível acumulado pode ocorrer em certos casos, todavia, esses tratamentos têm sido inadequados, inviáveis ou extremamente caros. A busca por decompositores químicos ou biológicos não tem alcançado êxito. A utilização de processos mecânicos não elimina o material, apenas transforma sua forma e arranjo. O fogo controlado tem se demonstrado, em várias situações, como a solução mais adequada para o problema do combustível acumulado (Soares; Batista; Tetto, 2017a).

Para Cooper (1971), a queima prescrita, aplicada cientificamente, tem demonstrado ser a melhor maneira de manter o material combustível em níveis aceitáveis. Nesse sentido, Mobley *et al.* (1973) apontam que o fogo controlado tem demonstrado ser uma metodologia mais eficiente de manejo a se usar quando o acúmulo de combustível atinge níveis perigosos.

3.2.5 *As Queimas Prescritas*

A queima prescrita pode ser definida como:

[...] a aplicação científica do fogo em combustíveis, tanto no estado natural ou alterado, sob determinadas condições meteorológicas, umidade do combustível e umidade do solo, de tal forma que seja confinado a uma área pré-determinada e, ao mesmo tempo, produza intensidade de calor e taxa de propagação necessários para se alcançar certos objetivos de manejo da vegetação (Soares; Batista; Tetto, 2017a, p.139).

Pela definição acima, constata-se que a aplicação da queima prescrita não é tarefa simples, pelo contrário, é uma atividade de grande complexidade que requer a avaliação e combinação de diversos fatores para que se alcancem os objetivos pré-estabelecidos.

De acordo com Lorenzon *et al.* (2018), quando devidamente empregada, sob condições ambientais estudadas previamente e sob controle, pode contribuir melhorando a qualidade do solo, da água, das florestas, das pastagens, do ar e da qualidade visual. Como instrumento de prevenção, a queima prescrita é uma excelente opção para manejo de material combustível, contribuindo para a quebra da continuidade da vegetação, resultando em barreiras que podem servir como pontos de ancoragem (e apoio logístico) em ações de combate e, principalmente, formando mosaicos de vegetação que dificultarão o avanço de um fogo descontrolado.

Os incêndios florestais, devido às mudanças que vem ocorrendo no regime do fogo, têm ocorrido de forma generalizada em todo o Brasil e no mundo, com tendência a ocorrerem incêndios de grandes proporções. Diante disso, a utilização de novas técnicas, como a queima prescrita, por meio das quais é possível manejar grandes áreas com um pequeno contingente de pessoal, gerando economia de recursos, precisam ser adotadas e ancoradas em conhecimentos científicos (Lorenzon, *et al.*, 2018).

Para aplicação da queima, os objetivos, a quantidade e o tipo de combustível e os fatores meteorológicos devem ser definidos e estudados previamente para que seja empregada a técnica de forma correta, evitando danos ao ambiente. É importante frisar que as condições atmosféricas devem estar favoráveis para que a fumaça produzida possa se dissipar para as camadas superiores evitando que atinjam rodovias e outras áreas urbanas (Soares; Batista; Tetto, 2017a).

Após verificar a real necessidade de uso do fogo para manejo de combustível, é necessário também estabelecer a época do ano (estação) mais favorável, a melhor hora do dia e o intervalo de tempo ideal em que as queimas devem ocorrer. Geralmente, as estações mais propícias do ano para queimar são o outono e o inverno, pois além das condições meteorológicas serem favoráveis, nessas estações os tecidos dormentes das árvores podem

suportar maiores períodos de exposição a altas temperaturas reduzindo os riscos de sofrer danos (Soares; Batista; Tetto, 2017a).

Deve-se aplicar as queimas nos dias em que as condições meteorológicas estejam favoráveis, tais como: velocidade do vento entre 5 e 15 km/h, sem variações bruscas de direção; a umidade relativa deve estar entre 50 e 60%; a temperatura do ar deve estar amena, entre 15 e 25 °C. Geralmente no Brasil essas condições acontecem no outono e no inverno, pela manhã, bem como no final da tarde e noite, devendo-se evitar os horários mais quentes do dia, que também apresentam menores valores de umidade relativa do ar (Soares; Batista; Tetto, 2017a).

O intervalo entre as queimas deve ser definido, por um lado, para que estas não sejam muito frequentes, causando danos aos ecossistemas em que estão sendo aplicadas e, por outro lado, para que não ocorram em grandes intervalos, nos quais será possível a acumulação de combustíveis a níveis perigosos.

4 METODOLOGIA

De acordo com as definições de Gil (2008), a presente pesquisa se classifica, quanto aos objetivos, como exploratória, pois tem como principal finalidade desenvolver conceitos e esclarecer hipóteses acerca das questões levantadas. No que diz respeito ao método, este trabalho se desenvolveu por meio do Estudo de Caso que, segundo Yin (2001), consiste na investigação de um fenômeno contemporâneo em seu contexto real, no qual os limites entre o fenômeno e o contexto não estão nitidamente definidos.

Quanto à natureza dos dados, a pesquisa teve abordagem qualitativa e no que diz respeito às fontes, foi realizada inicialmente pesquisa bibliográfica a partir do levantamento e revisão de literatura sobre o assunto, como livros, artigos científicos, dissertações e teses para melhor compreensão do tema. Além da revisão de trabalhos publicados, foi realizada também pesquisa documental por meio da análise de leis, decretos, arquivos e documentos da própria EEco-UFGM.

Para identificar os ecossistemas presentes na EEco-UFGM, bem como os demais aspectos biológicos, físicos e estruturais do local, além de pesquisa bibliográfica, foi necessária pesquisa de campo, análise de imagens de satélite e aplicação de outras ferramentas de processamento de dados, como sistemas de geoprocessamento e softwares de informática.

Para implantação da abordagem do MIF é necessário um estudo prévio detalhado do local para entender como se dão as relações entre a ecologia do fogo, as necessidades e impactos socioeconômicos relacionados ao fogo e as necessidades de manejo (prevenção, supressão e uso do fogo). Portanto, para verificar se existem as condições necessárias para utilizar o fogo de forma benéfica, por meio das queimas prescritas, é primordial a análise dos seguintes fatores:

- **Ecossistemas presentes na EEco-UFGM:** para relacioná-los com o papel ecológico do fogo, levando em consideração as possíveis respostas da vegetação à passagem ou à exclusão do fogo. Dessa forma, pode-se avaliar se há ambientes e fitofisionomias no local que evoluíram com a presença de um regime ecologicamente adequado de fogo, nas quais é possível e benéfica a aplicação de queimas prescritas para prevenir incêndios florestais;
- **Aspectos climáticos e os padrões meteorológicos:** a caracterização do clima local, bem como a identificação dos fatores biogeográficos que influenciam o microclima é importante para subsidiar a caracterização dos regimes de fogo, a definição da temporada crítica para incêndios, para evidenciar a janela (época) propícia de queima e para auxiliar a entender as variações do estado do combustível e do comportamento do fogo nos diferentes ambientes e momentos (sazonalidade anual e variações diárias);

- **Eventos de incêndios florestais ocorridos da EEco-UFMG:** para identificar e descrever os principais eventos de fogo ocorridos na área protegida, caracterizar o regime de fogo do local, apontar em que situações e de que forma o fogo está sendo utilizado e estabelecer possíveis relações de causas e consequências, fontes e locais de ignição e formas de propagação do fogo.

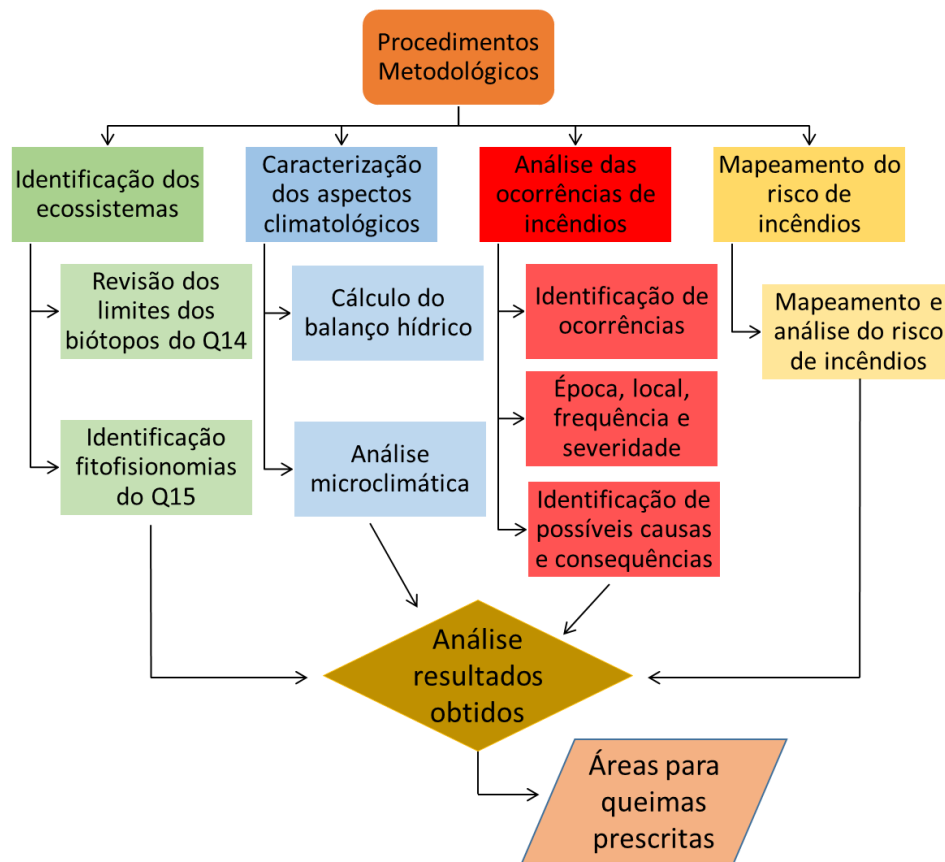
- **Risco de incêndios florestais da EEco-UFMG:** o mapeamento do risco de incêndios permite correlacionar e mensurar a influência de diversos aspectos, como fatores climáticos, vegetação, topografia e presença humana no risco de incêndios florestais, auxiliando a definir locais prioritários para implementação de ações de prevenção, como um maior monitoramento e o manejo de combustível por meio de queimas prescritas.

O MIF consiste em uma abordagem adaptativa de gestão do fogo, que integra saberes tradicionais, científicos e técnicos, considerando a interação dos aspectos ecológicos, socioculturais e econômicos do território para estabelecimento de estratégias de controle, supressão ou uso do fogo (ICMBIO, 2022).

Nesse sentido, para atingir os objetivos da presente pesquisa e avaliar os fatores acima elencados, foi necessária a aplicação de 04 (quatro) procedimentos metodológicos distintos, que se complementam, de forma articulada, a saber: 1) Identificação dos ecossistemas presentes na EEco-UFMG; 2) Caracterização dos aspectos climáticos da EEco-UFMG; 3) Análise das Ocorrências de Incêndios Florestais da EEco-UFMG e; 4) Mapeamento do risco de incêndios florestais da EEco-UFMG.

Por fim, a pesquisa passou pela fase de análise e interpretação, na qual os dados coletados e os resultados obtidos foram analisados de forma conjunta e foram tecidas considerações sobre os mesmos, permitindo traçar recomendações sobre a viabilidade de aplicação das Queimas Prescritas (Locais possíveis, prioridades/objetivos e melhor época), no âmbito do MIF, na Estação Ecológica da UFMG, como ferramenta de redução da intensidade, proporção e número de ocorrências de incêndios no local.

A **Figura 11**, a seguir, mostra o fluxograma contendo as etapas e a articulação entre os procedimentos metodológicos empregados para alcançar os resultados e objetivos desta pesquisa.

Figura 11 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

4.1 Identificação dos Ecossistemas presentes na EEco-UFMG

Para identificação e caracterização dos ecossistemas presentes na EEco-UFMG, inicialmente foi analisado o trabalho desenvolvido por Neves (2002) que, em sua dissertação de mestrado, realizou o zoneamento ambiental da área protegida por biótopos. Para tanto, foi necessária uma verificação e revisão dos limites das áreas identificadas pelo autor para atualizar possíveis expansões, reduções e outras alterações ocorridas, visto que o componente vegetacional é um fator dinâmico, que se altera com o tempo.

O autor se baseou no conceito apresentado por Bedê *et al.* (1997), em que um Biótopo pode ser dado como uma parcela de superfície ou espaço ocupado por um conjunto de elementos da fauna e da flora em um determinado momento temporal. Esta definição se aproxima do conceito de ecossistema que, de acordo com Odum (2001), pode ser definido como uma determinada área na qual os organismos vivos interagem com o ambiente abiótico de forma indissociável, gerando um fluxo de energia que resulta em biodiversidade e ciclagem de

matérias. Nesse sentido, visto que cada ambiente do zoneamento é resultado das interações entre meio biótico e o ambiente inerte (abiótico), os diferentes ambientes identificados por Neves (2002) podem ser considerados ecossistemas.

As análises realizadas por Neves (2002) aconteceram somente no quarteirão 14 da EEco-UFGM pois, de acordo com o autor, esse recorte configura como uma amostra representativa da área protegida por possuir uma grande variedade de ambientes. Problemas referentes à ocupação do quarteirão 15, a falta de segurança, a dificuldade de acesso e outros obstáculos, foram condições limitantes para a não realização do zoneamento nesta área (Neves, 2002).

Neves (2002) realizou um mapeamento representativo onde foram analisadas superfícies amostrais representativas de cada tipo de ambiente e os resultados das análises foram extrapolados para superfícies análogas. Inicialmente, o autor delimitou a área de estudo e fez uma compilação de dados e referências sobre o local. Na sequência, elaborou um mapa preliminar dos ecossistemas a partir da interpretação fotos aéreas do local. Por meio de trabalhos realizados em campo ocorreu a delimitação real das áreas com uso de GPS e a caracterização fisionômica através de planilhamento de áreas amostrais (Neves, 2002).

Por meio deste trabalho o autor identificou a presença de 13 ecossistemas, conforme apresentado a seguir:

1. Mata semidecídua com espécies nativas e eucaliptos: O local foi utilizado no passado para construção de alojamentos e galpões, apresentando áreas impermeabilizadas, com predominância de eucaliptos (*Eucalyptus sp.*), macaúbas (*Acrocomia aculeata*), com árvores de 2 a 5 metros e presença de arbustos.

2. Mata semidecídua com espécies nativas espécies exóticas: Local com áreas pouco impermeabilizadas com presença de resquícios de edificações, com formação vegetal apresentando boa variedade de espécies nativas e exóticas, tais como a copaíba (*Copaífera langsdorffii*). Foram registradas também árvores frutíferas, musgos e líquens.

3. Cerrado/Savana Florestada; localizado em porção mais interna da área, não apresentou indícios de edificações, dispondo de variedades de gramíneas e cipós. Verificou-se a predominância de árvores entre 5 e 10 metros, com a presença de estratos menores e algumas árvores de troncos tortuosos e com cascas espessas. As espécies mais altas apresentaram-se pouco ramificadas e com troncos mais lisos. Foram observadas no local algumas espécies características de outras formações vegetacionais, se destacando o jacarandá canzil (*Platypodium elegans*), o araribá (*Centrolobium tomentosum*), o ipê amarelo (*Tabebuia serratifolia*) e o jatobá (*Hymenaea stinguocarpa*).

4. **Capineira:** O local foi bastante manejado na década de 70 com implantação de monocultura de capim elefante (*Pennisetum purpureum*). Nota-se uma pequena presença de arbustos de espécies nativas advindos de plantios realizados na década de 90, se destacando os ipês amarelos e roxos, mognos e sapucaias, com pouca presença de espécie arbórea.

5. **Mata semidecídua com espécies nativas:** área com a formação vegetal mais extensa, apresentando bom estado de conservação, com boa diversidade de espécies de porte acima de 5m e presença de sub-bosque bem desenvolvido com arbustos e substratos em grande quantidade. A serrapilheira é espessa e não foram observados processos erosivos.

6. **Bambuzal:** Esse ambiente foi colonizado por espécies de bambu (*Bambusa* sp.) com grande capacidade de adaptação e competição, eliminando outras espécies vegetais. A estrutura vegetacional é composta basicamente de uma espécie, com exemplares alcançando cerca de 5 metros de altura.

7. **Área Brejosa:** Localizado em um dos pontos de menor altitude da EEco-UFMG, serve de bacia de sedimentação de materiais provenientes de duas vertentes, com áreas assoreadas onde há presença de algumas espécies arbóreas. Foram observados diferentes impactos no local, tais como deposição de entulhos e outros materiais e a ocorrência de incêndios. A vegetação é caracterizada por predominância de arbustos e subarbustos, com estrato inferior ocupado por trapueraba (*Cammelina* cf. *benghalensis*), com solo apresentando elevado teor de umidade.

8. **Lagoa:** Resultado de ação antrópica, foi criada na década 70, sendo abastecida por nascentes e principalmente pelo córrego do mergulhão. Nesse ecossistema foram registrados diversos impactos, tais como deposição de materiais residuais de obras e óleo proveniente de vazamento ocorrido na Empresa Gontijo. Na parte mais baixa deste ambiente existe uma pequena lâmina d'água e um vertedouro que faz a captação e canalização da água do Córrego do Mergulhão até desaguar na Lagoa da Pampulha. Observou-se pequenos bandos de capivara (*Hydrochaeris hydrochaeris*) e várias espécies de aves na região.

9. **Sede:** Possui construções antigas, com valor histórico-cultural, tais como uma olaria e um antigo ambulatório onde funciona a administração da área protegida, entre outras edificações. Observa-se a presença de grande variedade de espécies frutíferas nativas e exóticas e vegetação arbórea com poucas árvores, de porte entre 2 e 5 metros.

10. **Solo Exposto:** Localizado na região noroeste da EEco-UFMG, o local teve sua vegetação retirada por meio do uso de lâmina de trator. A ausência de vegetação e a declividade do terreno favorecem a retirada de material do solo, levando à erosão. Observa-se baixa

presença de gramíneas e alguns arbustos esparsos, predominando o capim meloso (*Melinis minutiflora*) e o alecrim do campo (*Baccharis dracunculifolia*).

11. Aterro-Deposição de matéria orgânica: Tipo de aterro que recebia restos de materiais de construção do campus e restos de poda de árvores e capina. O acúmulo de matéria orgânica aumenta o risco de incêndio florestal. Devido aos usos e tráfego de veículos no local o solo se encontrou bastante compactado.

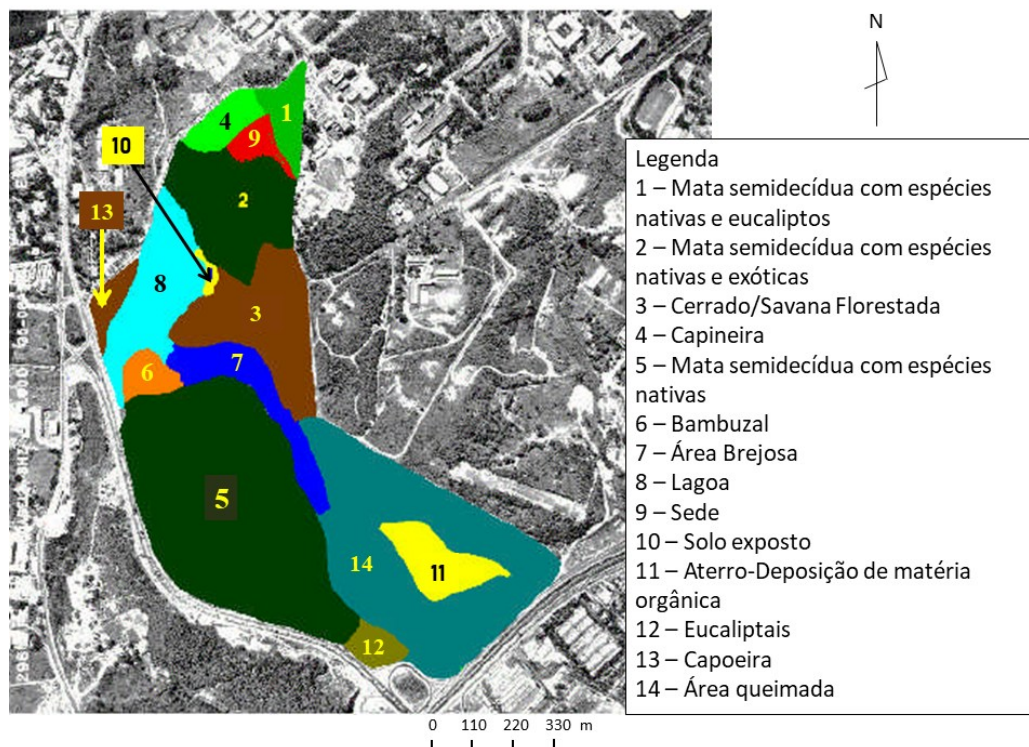
12. Eucaliptais: Área que faz limite com o Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo, foi utilizado em tempos remotos para atividades agropastoris, havendo no local um pequeno bosque de eucaliptos com altura de 10 a 15 metros e um sub-bosque formado por capim colônia (*Panicum maximum*). Foram constatadas ocorrências frequentes de incêndios florestais no local em função de retirada de lenha pelas populações vizinhas à área protegida.

13. Capoeira: Localizado a oeste da Lagoa, apresentou grande quantidade de lianas e a presença de espécies vegetais indicadores e processos sucessórios, com ausência de árvores maiores que 15 metros. O local sofreu impactos provenientes de movimentação de tratores para confecção de aceiros e foi contaminado por rompimento de adutora de esgoto e derramamento de óleo. Verificou a presença de lixo, constituído de papéis e plásticos, provenientes das áreas externas à unidade.

No período de desenvolvimento da dissertação Neves (2002) identificou, ainda, uma área queimada por incêndio floresta, que foi mapeada e nomeada como Área Queimada.

A **Figura 12** apresenta o Mapa de delimitação dos ecossistemas do quarteirão 14 da Estação Ecológica da UFMG, elaborado por Neves (2002).

Figura 12 - Mapa de delimitação dos ecossistemas da EEco-UFMG (Quarteirão 14)

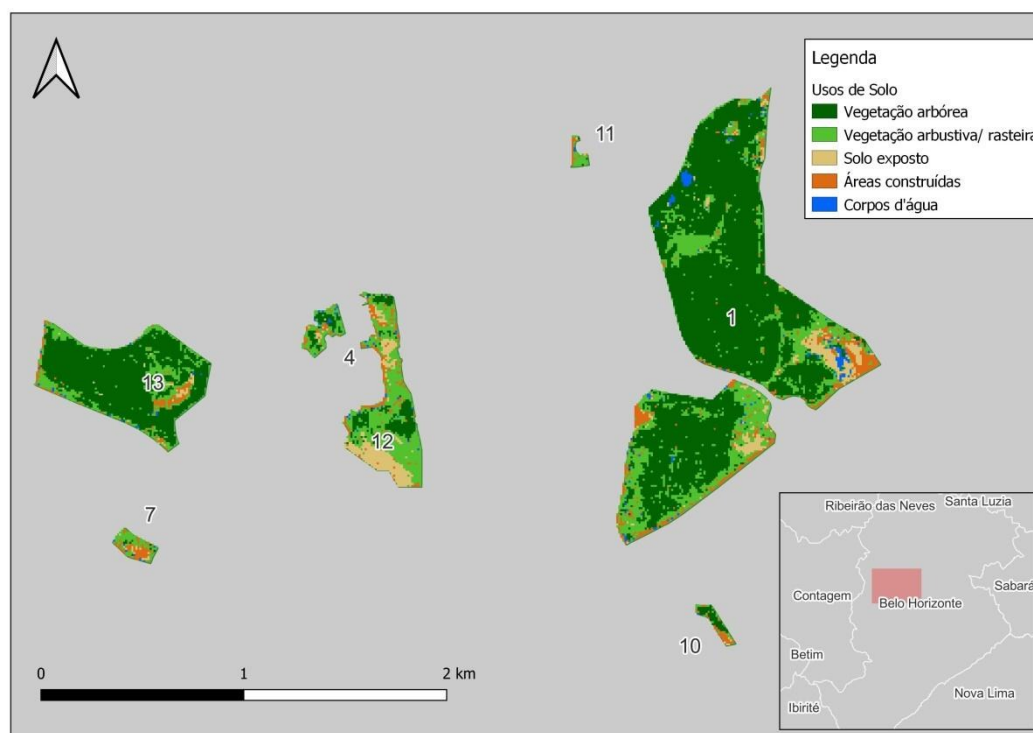


Fonte: Adaptado de Neves (2002) e Oliveira; Neves (2009).

A redefinição dos limites dos ecossistemas do Quarteirão 14 se deu, inicialmente, por meio de análise comparativa dos limites estabelecidos por Neves (2002) com imagens atuais de satélite, utilizando o Google Earth Pro, para identificar a real área ocupada atualmente por cada ambiente. Para validação dos limites atualizados foram realizadas visitas aos locais para verificações, como apresentado na seção Resultados.

Para avaliação da composição dos ecossistemas da área pertencente à EEco-UFMG localizada no Quarteirão 15, inicialmente foi consultado o trabalho de Leles (2023) que fez um levantamento e classificação do uso e ocupação do solo de áreas protegidas da região da Pampulha. A **Figura 13** contém referido mapa de uso e ocupação do solo da EEco-UFMG, identificada com o número 1 (um), dispondo de informações sobre os quarteirões 14 e 15.

Figura 13 - Mapa de uso e ocupação do solo de áreas protegidas urbanas da Pampulha, Belo Horizonte – MG



Fonte: Leles, 2023.

De acordo com a autora, a EEco-UFMG tem a seguinte composição de uso do solo: 79.98 hectares de vegetação arbórea; 23.03 hectares de vegetação arbustiva/rasteira; 4.51 hectares de solo exposto; 5.54 hectares de área construída; 1.77 hectares de corpos d'água.

Todavia, a classificação feita por Leles (2023) não apresenta o nível de detalhamento necessário para o presente trabalho. Nesse sentido, para complementar e aprofundar o nível de informações sobre os ecossistemas e fitofisionomias do Quarteirão 15, foram analisadas também imagens de satélite do Google Earth Pro e realizadas verificações em campo para obter os limites dos ecossistemas do quarteirão em questão, conforme apresentado no capítulo de Resultados.

As informações obtidas por meio da definição e caracterização dos ecossistemas da EEco-UFMG foram utilizadas para relacionar esses ambientes com o papel ecológico do fogo, levando em consideração as possíveis respostas da vegetação à passagem ou à exclusão do fogo. As informações produzidas por meio deste procedimento foram utilizadas para avaliar se os ecossistemas presentes no local evoluíram ou não com a presença de um regime ecologicamente adequado de fogo, nos quais é possível e benéfica a aplicação de queimas prescritas para gestão de combustível.

4.2 Caracterização dos Aspectos Climatológicos da EEco-UFMG

Conforme exposto na Revisão de Literatura, o clima é um dos principais fatores que influenciam o comportamento do fogo, uma vez que o efeito das variações dos elementos como a temperatura, a umidade relativa, o vento e a precipitação têm impacto decisivo na ignição e na propagação dos incêndios.

Para Monteiro (2003), definir/caracterizar o clima de uma local ou região é tarefa de grande complexidade, pois é necessário analisar atributos atmosféricos e fatores da superfície em um contexto de hierarquia e escala em função das características do objeto de estudo e da escala temporal. Para isso, é necessário entender como se dá a organização espacial do clima em ambientes naturais e urbanos e compreender como ocorrem as relações entre os sistemas naturais e antrópicos em escala temporal e espacial.

Os principais fatores macro que moldam o clima são a radiação solar sobre a Terra, que varia de acordo com a latitude, a reflectividade ou albedo da Terra e sua variação em função da cor, composição e características dos materiais, a proporção entre superfície terrestre e de oceanos (que difere em cada hemisfério), o efeito do relevo (montanhas) e as características atmosféricas e seus movimentos. Na organização climática os fatores locais que atuam em escalas meso e microclimáticas são a vegetação e suas características, os recursos hídricos locais, as características dos solos, o relevo local e as atividades antrópicas (Soares, Batista, Tetto, 2015).

Para Monteiro (2003), o clima urbano é um sistema aberto que abrange o clima de um determinado espaço terrestre e sua urbanização. O espaço territorial em questão constitui o núcleo do sistema que mantém relações íntimas com o ambiente regional em que se insere. As interações que ocorrem nos sistemas de clima urbano envolvem entrada de energia e uma sucessão de eventos de transformações e mudanças internas que geram novos produtos que retroalimentam o sistema e/ou são exportados para o ambiente. As entradas de energia desses sistemas são de natureza térmica, implicando em componentes determinados pela circulação atmosférica e que são decisivos para a composição hídrica desse sistema.

Essa dinâmica de inter-relações envolve pelo menos dois aspectos básicos: (1) dimensão espacial-temporal e a posição do objeto (sistema climático) no interior dessa estrutura hierárquica; (2) identificação e caracterização dos mecanismos e processos físicos de entrada, trânsito e saída de matéria e energia, envolvendo componentes verticais de entrada e saída de radiação de ondas curtas e longas e de transporte advectivo de calor e umidade pelas massas de ar (Jardim; Galvani, 2022).

Para avaliação dos aspectos climatológicos da EEco-UFMG foi utilizado o Cálculo do Balanço Hídrico Climatológico, conforme modelo empírico de Thornthwaite e Mather (1955), que permite avaliar em as variações médias de precipitação e do armazenamento de água no solo no decorrer de um ciclo anual. Para a análise microclimática foram instalados registradores automáticos (*dataloggers*) para aquisição de dados meteorológicos de diferentes pontos da EEco-UFMG e, posteriormente, correlacioná-los com os aspectos físicos e biológicos e com as informações e produtos gerados por outros trabalhos desenvolvidos na área protegida sobre o tema.

4.2.1 Cálculo do Balanço Hídrico Climatológico da EEco-UFMG

O cálculo do Balanço Hídrico Climatológico é uma metodologia que visa inferir a quantidade de água disponível no solo para a vegetação de um determinado local e sua variação ao longo dos meses. O cálculo considera a precipitação frente à evapotranspiração, em função da capacidade de armazenamento de água pelo solo. A entrada de água nesse sistema é representada pela precipitação e pela irrigação (quando houver), enquanto a saída se dá pela evapotranspiração (Tubelis; Nascimento, 1980). A temperatura também é um parâmetro fundamental para aplicação do método, pois influencia decisivamente no processo da evapotranspiração.

Por meio do balanço hídrico climatológico é possível contabilizar a quantidade água no solo, por meio da aplicação do Princípio de Conservação de Massa num volume de solo com vegetação. A variação de armazenamento de água (ΔARM) no volume considerado, por intervalo de tempo, representa o balanço entre o que entrou e o que saiu de água do volume de controle (Pereira; Angelocci; Sentelhas, 2007).

A metodologia para cálculo do Balanço Hídrico desenvolvida por Thornthwaite e Mather (1955) busca determinar a oscilação de armazenamento de água no solo sem considerar a irrigação ($I = 0$). Esta metodologia também assume que a ascensão capilar é zero ($AC = 0$). Dessa forma, é possível estimar a variação do armazenamento, denominada de alteração do armazenamento (ALT), a evapotranspiração real (ETR), e a drenagem profunda, que passa a ser denominada de excedente hídrico (EXC). Determinando-se a Evapotranspiração Potencial (ETP) e a ETR, é possível estimar também o déficit hídrico (DEF) pela subtração da ETP pelo ETR.

Inicialmente, para cálculo do Balanço Hídrico, é necessário definir o índice de Capacidade de Água Disponível (CAD) a ser utilizado. Deve-se considerar que, de acordo com

a textura do solo, este terá maior ou menor capacidade de retenção de água, o que será compensado pelo fato de que o sistema radicular das plantas explora maior volume de solo em solos arenosos, os quais possuem menor capacidade de retenção de água. Como o balanço hídrico, segundo Thornthwaite & Mather (1955), é geralmente aplicado para caracterizar a disponibilidade hídrica de uma região em bases climatológicas e comparativas, o CAD é selecionado em função do tipo de cultura (vegetação), recomendando-se utilizar CAD de 100 mm, que é o valor médio para a maioria das plantas cultivadas.

O valor de ETP mensal representa o total de evapotranspiração que ocorreria sob determinadas condições térmicas para um mês padrão de 30 dias, em que cada dia teria 12 horas de fotoperíodo (Thornthwaite, 1948). Para se obter a ETP de cada mês, o valor de ETP deve ser corrigido em função do número real de dias e do fotoperíodo do mês em questão.

O método de cálculo do balanço hídrico por Thornthwaite & Mather (1955) considera que a água no solo está disponível igualmente para a vegetação desde a capacidade de campo até o ponto de murchamento permanente. Isso quer dizer que a evapotranspiração ocorre de forma potencial enquanto não ocorrer perda de água armazenada no solo, ou seja, enquanto o armazenamento água não for nulo. Quando o armazenamento é nulo ocorre deficiência de água no solo, o que resulta em falta de água para que a evapotranspiração real aconteça potencialmente (Tubelis; Nascimento, 1980).

A seguir é apresentado o quadro para cálculo do Balanço Hídrico (**Tabela 3**), contendo os parâmetros necessários para realização do procedimento, conforme metodologia de Thornthwaite e Mather (1955).

Tabela 3 - Quadro do Balanço Hídrico Climatológico

QUADRO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Meses	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	P-ETP (mm)	N. AC. (mm)	AMR (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan										
Fev										
Mar										
Abr										
Mai										
Jun										
Jul										
Ago										
Set										
Out										
Nov										
Dez										
Ano					-		-			

Fonte: Adaptado de Tubelis; Nascimento, 1980.

Os dados brutos iniciais utilizados no cálculo do Balanço Hídrico Climatológico da EEco-UFGM foram adquiridos pelo portal eletrônico do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), tendo sido extraídos os dados históricos anuais da Estação Automática Belo Horizonte (Pampulha), código A521. A referida estação iniciou sua operação em 09/10/2006 e está localizada na Estação Ecológica da UFGM, na latitude de -19,88416 graus decimais, longitude de -43,96944 graus decimais e altitude de 869 metros (INMET, 2023).

Foram obtidos os dados diários de precipitação total horária (mm), temperatura do ar horária, temperatura máxima horária e temperatura mínima horária, de um período de 16 (dezesseis) anos completos, de 2007 a 2022.

O tratamento dos dados se deu por meio do *software* de planilhas Excel, da empresa Microsoft. Inicialmente foram calculadas as temperaturas médias compensadas (TMC) diárias, a partir dos dados horários obtidos, utilizando a equação:

$$\frac{Temp. Max. + Temp. Min. + Temp. 12h + (2 \times Temp. 0h)}{5}$$

Os dados de precipitação também foram convertidos de dados horários para dados diários, para todo o período (2007 a 2022).

Após conversão dos dados horários em dados diários foi iniciado o processo de verificação da consistência dos dados, buscando-se a identificação de falhas. Nesse processo foi utilizada a fórmula CONT.SES no Excel para localizar lacunas e apontar ausência de dados em cada mês/ano.

A análise da consistência se fundamentou no Documento Técnico N° 1.203 de 2017 da Organização Meteorológica Mundial (OMM). De acordo com este documento, para variáveis associadas a valores diários de temperatura, seguindo a regra 3:5, é recomendado descartar os meses com ausência de dados em três ou mais dias consecutivos, ou cinco ou mais dias alternados. Para variáveis associadas a valores acumulados no período de interesse, como a precipitação, a recomendação é que se considerem apenas meses completos, ou seja, meses sem nenhum dado faltante (OMM, 2017).

Nesse sentido, como apresentado na **tabela 4**, foram identificadas as seguintes falhas com necessidade de correção dos dados de TMC: Em 2007 foram 12 dias alternados no mês de janeiro, 4 dias seguidos em julho e 4 dias seguidos em novembro; Em 2008 foram 7 dias seguidos no mês de outubro; Em 2012 foram 3 dias seguidos de falhas em dezembro.

Tabela 4 - Falhas identificadas nos dados de TMC

Mês/Ano	2007	2008	2012
Janeiro	12 dias alternados	-	-
Julho	04 dias seguidos	-	-
Outubro	-	07 dias seguidos	-
Novembro	04 dias seguidos	-	-
Dezembro	-	-	03 dias seguidos

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Para a correção dos dados de Temperatura Média Compensada foi utilizada a metodologia da regressão linear múltipla (RLM), que utiliza como variáveis independentes a latitude, a longitude, e a altitude das estações de apoio.

Para correção das falhas de temperatura foram utilizados dados de 6 (seis) estações de apoio próximas da Estação INMET Pampulha, conforme relação presente na **tabela 5** a seguir.

Tabela 5 - Estações de apoio para correção de dados de temperatura

Nome	Latitude	Longitude	Altitude	Início Operação	Código OMM
Belo Horizonte	-19,934444	-43,952222	915,47	02/03/1910	83587
Ibirité (Rola Moca)	-20,031389	-44,011111	1198,82	05/06/2008	A555
Florestal	-19,885278	-44,416944	753,5	26/06/2008	A535
Ouro Branco	-20,556667	-43,756111	1048,2	27/07/2006	A513
C. Do Mato Dentro	-19,020278	-43,433889	663,02	29/06/1925	83589
São João Del Rei	-21,106502	-44,250928	929,88	08/06/2006	A514

Fonte: INMET, 2015.

Conforme apresentado na Tabela 6, foram identificadas também falhas nos dados de precipitação nos seguintes meses/anos: janeiro, julho e novembro de 2007; outubro de 2008; março e dezembro de 2012; março de 2013 e; setembro de 2020.

Tabela 6 - Falhas identificadas nos dados de Precipitação

Mês/Ano	2007	2008	2012	2013	2020
Janeiro	04 dias	-	-	-	-
Março	-	-	01 dia	01 dia	-
Julho	04 dias	-	-	-	-
Setembro	-	-	-	-	06 dias
Outubro	-	07 dias	-	-	-
Novembro	03 dias	-	-	-	-
Dezembro	-	-	03 dias	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A correção das falhas de precipitação ocorreu utilizando-se a metodologia do Inverso da Distância (IDW), que é empregada quando se tem um determinado valor distribuído espacialmente e se quer estimá-lo para um ponto específico.

Para correção das falhas de precipitação foram utilizados dados de 4 (quatro) estações de apoio próximas, localizadas dentro de um raio de 30km de distância da Estação INMET Pampulha, conforme dados **tabela 7**. Para essa finalidade, foram extraídos dados de 2 (duas) estações do INMET e de 2 (duas) estações do sistema HIDROWEB da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Tabela 7 - Estações de apoio para correção de dados de precipitação

Estação	Est_INMET BH(83587)	Est_INMET Ibirité(A555)	Est_ANA Betim(1944055)	Est_ANA BH Horto(1943055)
Latitude	-19,93	-20,03	-19,97	-19,90
Longitude	-43,95	-44,01	-44,19	-43,92

Fontes: INMET, 2015 e ANA, 2023.

Em função da dificuldade de localizar estações de apoio próximas à Estação INMET Pampulha, contendo dados do ano de 2007 para o processo de correção, foi necessário descartar os dados deste ano. Após correção das falhas e de posse dos valores mensais corrigidos, foram calculadas as médias mensais de temperatura média compensada (**Tabela 8**) e as médias mensais de precipitação acumulada (**Tabela 9**) para o período de 2008 a 2022, totalizando 15 anos completos de dados.

Tabela 8 - Médias mensais corrigidas de TMC (°C)

MÉDIAS MENSAIS CORRIGIDAS DE TMC (°C)												
Estação INMET Pampulha (A521)												
Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2008	22,4	23,4	22,6	22,8	20,1	19,6	18,5	20,9	21,3	22,3	22,2	22,1
2009	23,0	23,6	23,5	22,0	20,3	18,9	20,5	20,2	23,3	22,5	24,1	22,4
2010	24,2	24,9	23,5	22,0	20,3	18,1	19,5	19,9	21,6	22,4	21,8	23,9
2011	23,4	25,0	22,6	22,3	20,2	18,7	19,1	21,8	21,6	21,5	20,9	21,6
2012	22,4	23,4	23,0	22,5	19,4	20,2	19,4	19,1	22,4	23,8	22,5	24,1
2013	23,0	24,1	23,4	21,0	20,3	20,1	19,9	20,4	21,7	21,5	22,5	22,7
2014	24,5	24,4	23,1	22,2	20,4	19,9	18,9	20,4	22,6	23,1	22,9	23,7
2015	25,3	23,4	23,5	22,2	19,8	19,3	19,9	20,7	24,2	25,7	25,0	24,1
2016	23,4	25,2	23,9	23,7	21,3	19,1	20,0	21,1	23,2	23,7	22,4	23,2
2017	24,6	23,1	23,5	22,6	20,4	19,7	17,5	20,2	21,1	23,9	22,3	23,5
2018	24,3	22,8	23,5	21,7	19,9	20,2	19,7	20,1	22,1	23,3	22,1	23,3
2019	25,0	24,3	23,8	23,3	21,9	19,8	18,7	20,5	23,6	24,6	23,6	23,3
2020	23,7	23,2	22,5	21,9	18,9	19,5	19,7	19,4	24,0	23,7	22,7	23,5
2021	23,8	22,7	23,3	21,7	20,8	19,3	18,2	20,0	24,2	22,6	22,2	22,1
2022	23,1	22,4	24,4	23,0	19,2	19,0	19,0	20,2	21,6	23,1	21,3	22,0
Média	23,7	23,7	23,3	22,3	20,2	19,4	19,2	20,3	22,5	23,2	22,6	23,0

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Tabela 9 - Médias mensais corrigidas de precipitação acumulada (mm)

MÉDIAS MENSAIS CORRIGIDAS DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA (mm)												
Estação INMET Pampulha (A521)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2008	442,2	218,0	369,8	164,2	4,4	9,6	0,0	43,6	136,8	59,0	341,2	833,4
2009	379,0	193,0	297,8	65,6	19,6	23,0	0,0	36,8	51,2	463,0	143,8	723,2
2010	209,2	105,4	261,2	49,8	26,0	1,4	0,0	0,0	69,2	204,0	427,2	292,2
2011	296,2	83,8	305,4	18,8	0,8	10,6	0,0	0,0	2,6	211,0	269,0	789,4
2012	501,0	43,6	279,2	60,8	74,6	7,2	0,0	0,0	28,8	52,4	345,8	96,4
2013	382,8	102,4	154,6	162,0	64,2	15,6	0,0	0,0	42,0	184,2	182,6	537,0
2014	76,6	57,4	101,6	232,6	5,6	9,4	66,6	1,6	2,2	128,6	252,0	186,0
2015	81,2	345,2	181,8	65,0	72,0	6,2	15,2	0,0	55,2	62,2	207,2	160,6
2016	375,2	240,2	106,4	36,2	0,0	48,2	0,0	0,8	43,8	65,6	213,0	326,0
2017	179,6	166,2	86,8	29,4	28,0	24,8	0,0	0,0	46,4	117,8	204,2	309,8
2018	192,8	275,2	368,0	13,2	11,4	0,0	0,4	41,0	51,0	176,0	265,0	292,6
2019	71,6	231,4	110,0	114,6	47,0	4,8	0,0	0,0	19,4	56,6	203,6	211,4
2020	739,8	349,0	313,6	101,0	27,8	4,4	2,4	13,8	11,0	114,0	150,2	250,4
2021	215,6	407,6	105,8	7,6	17,2	5,0	0,0	15,6	5,4	241,4	253,2	390,0
2022	435,6	314,8	4,8	28,2	65,4	0,0	0,0	0,0	53,0	118,0	261,0	410,8
Média	305,2	208,9	203,1	76,6	30,9	11,4	5,6	10,2	41,2	150,3	247,9	387,3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

De posse dos valores médios mensais de TMC e de precipitação acumulada mensal, procedeu-se o calculado os valores de ETP, que foram devidamente corrigidos para cada mês. Na sequência foi possível calcular também os demais parâmetros necessários para realização do cálculo do Balanço Hídrico (Conforme **Tabela 3**), que são:

- **P - ETP:** Precipitação menos evapotranspiração potencial (Valor positivo indica chuva em excesso, e valor negativo representa perda potencial de água).
- **NEG-AC:** Negativo acumulado (Quando o resultado da subtração P - ETP é positivo o NEG-AC será igual a zero. Quando o resultado for valores negativos, no primeiro mesmo o NEG-AC será igual ao valor obtido e a cada mês seguinte de valor negativo será somado o valor negativo do mês anterior).
- **ARM:** Representa o armazenamento de água no solo.
- **ALT:** é a alteração no armazenamento de água no solo, calculado pela subtração do ARM do mês em questão pelo ARM do mês anterior.

- ETR: representa a evapotranspiração real, que ocorre em função da disponibilidade de água no solo.
- DEF: representa a Deficiência hídrica, ou seja, a falta de água no solo, sendo calculada por: $DEF = ETP - ETR$.
- EXC: representa o Excedente hídrico, ou seja, a quantidade de água que sobra no período chuvoso e se perde do volume de controle por percolação (drenagem profunda) e/ou escoamento superficial.

As informações produzidas por meio deste procedimento metodológico foram transformadas em gráficos, conforme apresentado na seção Resultados, o que permitiu avaliar como se dá a dinâmica de acúmulo e perda de água do solo na área de estudo. A partir de padrões comportamentais evidenciados, foi possível identificar os meses do ano com maior armazenamento de água, os meses com maior deficiência hídrica e os meses intermediários.

Com base nessas informações, foi possível apontar as épocas mais propícias do ano para realização de manejo de combustível por meio de queimas prescritas no âmbito da metodologia do Manejo Integrado do Fogo (MIF). O cálculo do Balanço Hídrico permitiu também, identificar os períodos mais críticos para a ocorrência de incêndios florestais, ou seja, os períodos de maior deficiência de água no solo, que requerem maior atenção dos gestores e implementação de ações preventivas mais contundentes, como o monitoramento mais constante.

O cálculo do Balanço Hídrico Climatológico, portanto, é uma ferramenta de extrema relevância para a gestão do fogo em áreas protegidas, pois tem o potencial de fornecer informações sobre a temperatura, a precipitação e a disponibilidade de água no solo, fatores que afetam diretamente o estado da vegetação e, consequentemente, a dinâmica dos incêndios florestais.

O detalhamento dos procedimentos, etapas, fórmulas e equações utilizados para calcular o Balanço Hídrico Climatológico encontram-se no **Apêndice A** deste trabalho.

4.2.2 *Análise Microclimática da EEco-UFMG*

A aquisição dos dados climatológicos para realização da análise microclimática se deu por meio da instalação de quatro registradores automáticos (*dataloggers*), modelo HT-4000, da marca Icel Manaus, em diferentes pontos da EEco-UFMG, fixados em abrigos climatológicos, como mostra a **Figura 14**.

Figura 14 - Datalogger HT-4000 e pontos de instalação dos abrigos climatológicos



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Estes abrigos climatológicos têm como finalidade padronizar as condições para realização das mensurações, nesse caso de temperatura e umidade relativa do ar. De acordo com Jardim (2018), os referidos abrigos são estruturas com orifícios de ventilação passiva construídas em policloreto de polivinila (PVC), com isolamento em isopor e espuma vinílica acetinada (EVA), que geram boas condições de ventilação e de isolamento térmico e minimizam a transferência de calor para a parte interna do abrigo. Estas estruturas devem ser instaladas a aproximadamente 2m de altura para evitar as interferências da radiação solar refletiva pelo solo.

Desta forma, os abrigos propiciam ambiente homogêneo para obtenção de registros, reduzindo a margem de erro dos equipamentos em relação aos dados das estações meteorológicas oficiais (Jardim, 2018).

Os quatro pontos em que foram instalados os *dataloggers* foram definidos em função das características de cada ambiente, tendo em vista a influência dessas características nos resultados das medições, tais como: 1) presença de estruturas físicas como edificações; 2) áreas abertas com maior exposição solar; 3) presença de cursos hídricos e variação de altitude e; 4) presença de vegetação arbórea.

O ponto 1 (Administração) localiza-se próximo às estruturas físicas da EEco-UFMG, que dispõe de uma sede administrativa, um espaço com um viveiro de mudas e onde são realizadas oficinas ambientais, um forno grande em tijolo de uma antiga olaria, espaço com piso e paredes de meia altura em tijolos. O datalogger do ponto 1 foi instalado sobre um gramado que compõe o complexo administrativo, nas coordenadas 19°52'25"S, 43°58'21"O.

O ponto 2 (Lagoa Seca) está situado em local com solo exposto com grande incidência de raios solares e presença de vegetação arbustiva e arbórea somente nas extremidades da área, nas coordenadas 19°52'37"S, 43°58'25"O.

O ponto 3 (Vertedouro) fica próximo ao curso d'água Córrego do Mergulhão e possui a menor altitude entre os pontos de coleta, localizado nas coordenadas 19°52'30"S, 43°58'28"O. Devido ao curso d'água há presença de vegetação característica de áreas brejosas com árvores de maior porte no entorno da área.

O ponto 4 (Mata das Borboletas) é um local com presença de Floresta Estacional Semidecidual, uma fitofisionomia da Mata Atlântica. Há presença de um importante e expressivo estrato arbóreo, resultando em pouca incidência de raios solares. O ponto 4 está localizado nas coordenadas 19°52'48"S, 43°25'26"O.

Os registradores foram instalados no dia 12/04/2023 e recolhidos no dia 10/05/2023. Foram registrados dados diários completos de vinte e sete dias, de 13/04/2023 à 09/05/2023, para os parâmetros temperatura (T) e umidade relativa (UR). Após coleta dos dados, os mesmos foram descarregados e armazenados em planilha do Microsoft Excel. Em seguida os dados foram corrigidos utilizando como parâmetro as medições da Estação Meteorológica Automática INMET-Pampulha, Belo Horizonte, localizada na Estação Ecológica da UFMG, na latitude 19°53'0.08"S e longitude 43°58'11.63"O, situada a 854,02 metros de altitude.

Para a análise dos dados, primeiro extraiu-se a máxima, média e mínima absolutas de todo o período para cada parâmetro (T e UR), de cada ponto de coleta e da estação INMET-Pampulha. Na sequência foram agrupados os dados das máximas, médias e mínimas diárias de

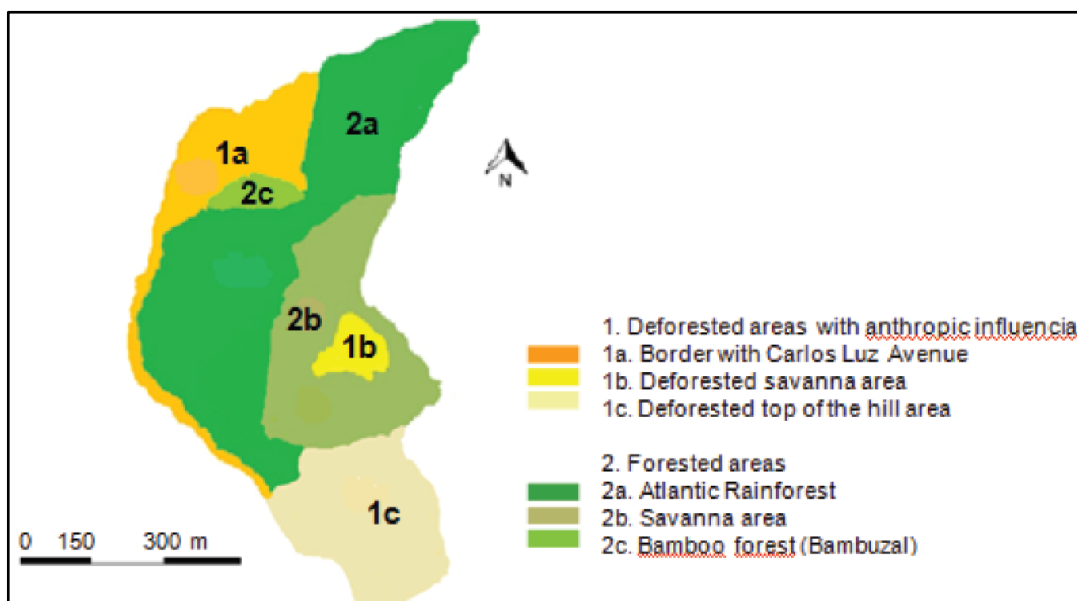
temperatura e umidade relativa, o que possibilitou a geração de gráficos em formato de linha para fazer uma análise macro das medidas, comparando os diferentes valores medidos em cada ponto durante todo o período da aquisição de dados.

Os dados horários de temperatura e de umidade relativa, obtidos por meio dos registradores automáticos instalados em trabalho de campo, foram analisados de forma comparativa com as características topográficas, da vegetação, da superfície dos solos e das influências antrópicas.

Além dos dados climatológicos coletados por meio de registradores automáticos, foram analisados também os dados e as informações produzidas por meio de outros trabalhos científicos desenvolvidos na EEco-UFMG.

Um importante trabalho analisado foi o artigo de Jardim & Monteiro (2014) no qual os autores elaboraram uma proposta de compartimentação da EEco-UFMG em unidades microclimáticas com características semelhantes de acordo com a influência da vegetação nas variáveis climáticas de temperatura e umidade relativa. A proposta de compartimentação em unidades microclimáticas desenvolvida pelos autores apresentou uma setorização do local em dois grandes grupos: áreas desmatadas com influência antrópica e áreas florestais. Cada um desses grupos foi subdividido em três subáreas, conforme apresentado na **figura 15**.

Figura 15 - Mapa de Compartimentação da EEco-UFMG em unidades microclimáticas



Fonte: Jardim; Monteiro, 2014.

Os padrões comportamentais evidenciados a partir dos dados coletados foram analisados em função das características (vegetação, topografia, presença de recursos hídricos, exposição ao sol etc.) de cada ponto de análise. A correlação entre os dados produzidos por meio do presente trabalho, conjugados com as informações e produtos gerados pelos trabalhos de Neves (2002) e de Jardim e Monteiro (2014), com os devidos ajustes, permitiu, identificar a como os fatores estruturais do ambiente influenciam o microclima.

As informações produzidas por meio do estudo dos aspectos microclimáticos e das relações entre fatores biogeográficos e o microclima foram utilizadas para identificar importantes características do comportamento do fogo. Permitiram evidenciar os melhores horários do dia para realização de queimas prescritas, uma vez que deve-se buscar condições meteorológicas com temperaturas mais amenas e umidade relativa do ar elevada e evitar momentos de maior temperatura e menor umidade para facilitar o controle do fogo, evitando que o mesmo se torne intenso e severo;

A avaliação dos dados microclimáticos em função dos fatores biogeográficos possibilitou, ainda, compreender as variações que ocorrem no estado do combustível e no comportamento do fogo em cada ambiente, uma vez que as características da vegetação, topografia e presença de recursos hídricos influenciam as condições microclimáticas, podendo atenuar ou intensificar a temperatura e a umidade do ar do local e, dessa forma, facilitar ou dificultar o início e propagação do fogo. Em locais cujas características favorecem maior

entrada de raios solares e onde não há presença de dossel de mata e de cursos hídricos, por exemplo, há um intenso aumento da temperatura e uma redução acentuada da umidade relativa do ar nas horas mais quentes do dia, o que favorece a secagem da vegetação (combustível), tornando mais fácil o processo de combustão.

Os resultados deste procedimento auxiliaram, também, a compreender a relação ecológica de cada ambiente com o fogo, ao evidenciar os ecossistemas que favorecem a ocorrência do fogo e os que inibem a presença deste fenômeno, uma vez que as características de cada ambiente resultam de uma inter-relação entre a vegetação, o clima local, o solo, o relevo e a disponibilidade hídrica. Dependendo das características biogeográficas do clima, alguns ecossistemas são mais secos e a vegetação é mais inflamável e propensa ao fogo. Por outro lado, há ambientes que conservam melhor a umidade e são sensíveis a passagem do fogo e, portanto, buscam repelir sua ocorrência.

4.3 Avaliação das Ocorrências de Incêndios Florestais da EEco-UFMG

A avaliação das ocorrências de incêndios florestais de uma determinada área é de extrema relevância para se conhecer e entender o regime de fogo que predomina no local. O regime do fogo diz respeito a um conjunto de características, tais como frequência, época e locais de ocorrência bem como a intensidade e severidade destas em função do tamanho da área atingida (Soares; Batista; Tetto, 2017a).

No decorrer do percurso deste procedimento metodológico, constatou-se uma ausência de registros sistematizados e de documentação completa de dados sobre as ocorrências de incêndios florestais que acometeram a EEco-UFMG. Conforme exposto na caracterização da área de estudo, a pesquisa documental realizada na base de dados da EEco-UFMG e as pesquisas por reportagens sobre o tema resultaram na identificação de relatos, fotos e algumas reportagens sobre incêndios florestais ocorridos na área protegida. Porém, a maior parte das informações encontradas nestas fontes não apresentaram exatidão com relação às datas, ao tamanho e aos locais atingidos pelo fogo sem controle.

Nesse sentido, para aquisição de dados concretos sobre as ocorrências de incêndios florestais foram utilizadas as bases de dados do Google Earth Pro e do Sentinel Hub EO Browser, contendo imagens de satélite das áreas queimadas. Foram realizados ainda, trabalhos em campo para levantamento e registro de informações.

Para coleta de imagens da base do Google Earth Pro foi utilizada a ferramenta de visualização de imagens históricas, que disponibiliza imagens de satélite de boa resolução, de

determinadas datas, desde o ano de 2002. Por meio dessa ferramenta foi possível acompanhar a evolução histórica das imagens na busca pela identificação de áreas queimadas indicando a ocorrência de incêndios florestais.

A ferramenta EO Browser do Sentinel Hub também possui acervo de imagens históricas de satélite de alta resolução, de determinadas datas, e para a coleta e análise dos dados e foi utilizada a função “Falsa Cor” de infravermelho próximo, vermelho e verde. Nesse esquema, cada combinação de cor (banda) pode ser adaptada para melhorar algum objeto ou tipo de característica específica. Uma imagem em falsa cor feita com as bandas NIR (infravermelho próximo), Vermelha e Verde (bandas 8, 4 e 3) confere a toda a vegetação uma cor vermelha distinta, permitindo que seja mais facilmente distinguida do seu ambiente pelo olho humano. Isto é possível devido à alta reflectância das plantas no espectro do infravermelho próximo.

Após identificação das imagens contendo áreas queimadas, foi mensurado o tamanho/extensão da área atingida e posteriormente os arquivos foram salvos em formato de polígono e de imagem.

Por fim, os dados obtidos foram analisados em conjunto, de forma comparativa, para identificar os padrões das ocorrências de fogo sem controle do local. As informações geradas por meio deste procedimento foram utilizadas para caracterizar o regime de fogo vigente na EEco-UFMG (época, frequência e intensidade), para apontar em que situações e de que forma o fogo está sendo utilizado e, assim, estabelecer possíveis relações de causas e consequências, fontes e locais de ignição e formas de propagação do fogo. Por meio da avaliação das ocorrências foi possível também indicar prováveis impactos causados pelo fogo sem controle.

4.4 Mapeamento do Risco de Incêndios Florestais da EEco-UFMG

A análise de risco de incêndios em áreas protegidas é de extrema importância, tendo em vista o potencial que esse mapeamento tem de fornecer informações essenciais para o planejamento de ações de prevenção e de combate a incêndios florestais.

Por sofrer influência de diversos fatores, o mapeamento de risco de incêndio florestal é tarefa de grande complexidade. Devido à dificuldade de correlacionar a influência e o impacto de cada fator no risco de incêndio florestal, para realização deste procedimento foi utilizada a ferramenta ArcGIS® 10.8 desktop Advanced, que é um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Como foi apresentado na Revisão de Literatura, os principais fatores que influenciam o comportamento do fogo e, portanto, o risco de incêndios florestais são: o material combustível

presente na vegetação, a topografia do local e as condições meteorológicas. (Lorezon, *et al.*, 2018). Como a grande maioria dos incêndios tem origem antrópica, a presença humana também impacta no risco de incêndios florestais e sua influência deve ser considerada.

O Mapeamento do risco de incêndios, por meio do ArcGIS, é realizado através da sobreposição de mapas digitais (planos de informação), cujas informações são correlacionadas, possibilitando definir classes de risco de incêndio de uma região por zonas. Para aquisição destes mapas foram realizados os seguintes procedimentos:

- **Mapa de cobertura e uso do solo:** este mapa foi obtido por meio do procedimento metodológico de identificação dos ecossistemas presentes na EEco-UFMG, a partir do qual foi gerado um mapa contendo as diferentes fitofisionomias e usos de solos atualmente vigentes no local. O mapa atualizado da cobertura e uso do solo foi produzido utilizando-se o Google Earth Pro, de onde foi extraído em formato digital para ser usado no ArGIS;
- **Mapas da topografia (altitude, declividade e orientação do relevo):** Esses mapas foram gerados a partir do mapa de Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDE), extraído da base de dados BH MAP da Prefeitura de Belo Horizonte. O MDE é uma representação digital da topografia de uma região, contendo todas os dados sobre a altitude, declividade e a orientação do relevo. A partir do MDE foram gerados 03 (três) mapas distintos, um da altitude, outro da declividade e o terceiro da orientação do relevo;
- **Mapa de Proximidade de Estradas:** foi obtido extraindo o mapa/camada da Circulação Viária (estradas) do portal BH MAP, fazendo-se um recorte com base na área da EEco-UFMG, englobando as rodovias do seu entorno/limite. Dessa forma, foi possível gerar um mapa contendo as estradas que entrecortam a EEco-UFMG, para avaliar o impacto da presença humana no risco de incêndios.
- **Mapa de Temperatura (condições meteorológicas):** Para elaboração do mapa de temperatura, inicialmente foi extraído o arquivo de focos de calor do Programa BD Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), para o município de Belo Horizonte, com recorte para a área da EEco-UFMG, referente ao período de 01/01/2019 a 31/12/2019, ano em que ocorreu um grande incêndio no local. A partir destes focos (pontos de calor) foi gerado um mapa de calor no ArGIS, por meio da função “Densidade de Kernel”, que utiliza interpolação para quantificar os parâmetros de calor de uma área, a partir de determinados pontos, no caso, a partir dos focos de calor extraídos dos BD Queimadas do INPE.

Neste procedimento de mapeamento de risco de incêndios florestais não foi possível a utilização dos dados e informações geradas por meio do cálculo do Balanço Hídrico e do estudo dos aspectos climatológicos, por dificuldades técnicas em converter os dados em mapas no formato digital para as áreas do quarteirão 14 e do 15. Portanto, foi utilizado somente o mapa de temperatura gerado a partir de focos de calor do BD Queimadas. Todavia, esse fato não compromete os resultados obtidos, uma vez que o Mapeamento do Risco de Incêndios é um procedimento metodológico complementar, cujas informações geradas se somam às produzidas pelos demais procedimentos aplicados para alcançar os objetivos da pesquisa.

A utilização de ferramentas capazes de promover o tratamento e sobreposição de mapas é fundamental para realização do mapeamento de risco de incêndios florestais. Os SIG têm capacidade de armazenar, tratar, processar e combinar um grande volume de dados e informações de maneira simultânea, de forma rápida e confiável, sendo uma das mais apropriadas ferramentas para aplicação em um mapeamento de risco de incêndio florestal, tendo em vista a diversidade de fatores que influenciam o início e o comportamento do fogo (Chuvieco; Gongalton, 1989).

Alguns autores atestam a eficiência de ferramentas presentes no universo das geotecnologias para o planejamento de enfrentamento dos incêndios florestais, a exemplo de Ramalho *et al.* (2021) que afirma que a predição dos incêndios pode ser realizada por meio dos zoneamentos de riscos de ocorrência elaborados por meio do SIG.

O tratamento e o processamento dos dados ocorreram seguindo o método proposto por Ramalho *et al.* (2021), por meio da ferramenta ArcGIS® 10.8 desktop Advanced com todas as extensões habilitadas em idioma inglês, utilizando a lógica Fuzzy, que consiste em uma técnica de inteligência artificial, que permite a associação de diferentes variáveis e se baseia tanto na teoria de conjuntos quanto nos graus de verdade:

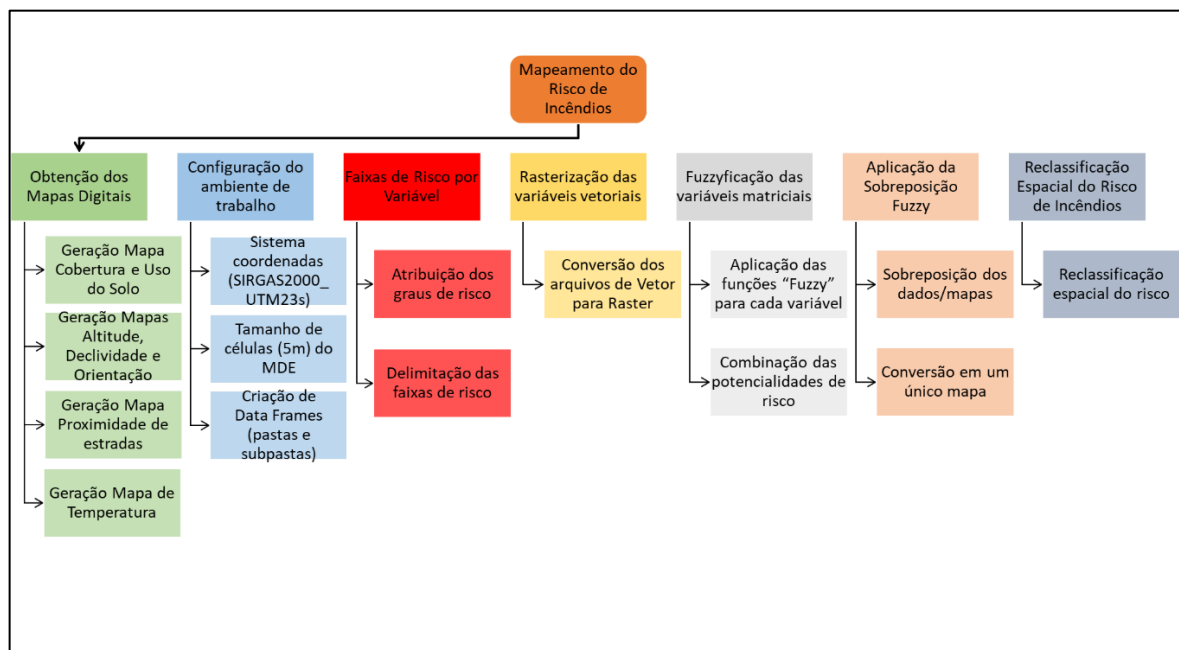
[...] é a metodologia que estabelece se um valor pertence ou não a um determinado conjunto, que nesse caso varia de 0 a 1, e qual o seu grau de influência sobre o resultado final. Assim, partindo do ponto que normalmente os valores utilizados como entrada em procedimentos geotecnológicos são contínuos, é preciso que o usuário estabeleça estratégias de conversão desses para um intervalo de 0 a 1. Esse processo é conhecido como Fuzzificação e estabelece a associação Fuzzy para cada valor de entrada com base em funções de pertinência. Os valores transformados variam de 0 a 1, definindo a possibilidade de pertencer a uma classe ou conjunto especificado, onde o risco é considerado “muito alto” quando os valores se aproximam de 1 e “muito baixo” quando se aproximam de 0 (Ramalho *et al.*, 2021, p. 12).

As etapas metodológicas realizadas para obtenção do mapeamento estão listadas a seguir: 1) Obtenção dos mapas digitais de cada variável; 2) Configuração e organização do

ambiente de trabalho; 3) Delimitação das faixas de risco para cada uma das variáveis; 4) Rasterização das variáveis vetoriais; 5) Fuzzyficação das variáveis matriciais; 6) Aplicação da sobreposição Fuzzy; e 7) Reclassificação espacial do Risco de Ocorrência de Incêndios Florestais (ROIF).

Devido à complexidade do processo de mapeamento do risco de incêndios e ao grande número de etapas, foi elaborado o fluxograma presente na **Figura 16**, contendo os passos seguidos neste procedimento, para auxiliar na sua compreensão.

Figura 16 - Fluxograma do Mapeamento de Risco de Incêndios



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para configuração do ambiente de trabalho foram utilizados os arquivos do Limite da EEco-UFMG e do Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDE). O ambiente foi configurado para que todas as etapas do trabalho ocorressem dentro dos limites da Estação Ecológica da UFMG, no sistema de coordenadas SIRGAS2000_UTM23s e mesmo tamanho de células (5m) do MDE. A organização do banco de dados se deu pela criação de Data Frames (sistema de pastas e subpastas) específicos para cada variável trabalhada.

O arquivo de Uso de Ocupação da Terra (UOT), devido ao tamanho (114 ha) e diversidade de ambientes da EEco-UFMG, foi elaborado a partir da atualização do zoneamento ambiental realizado por Neves (2002). Após redefinição dos limites dos ecossistemas do Quarteirão 14 e realizada a delimitação dos ecossistemas do Quarteirão 15, os arquivos foram

salvos em formato *Keyhole Markup Language* (KML) e convertidos para o formato Shape (Shp) utilizando a ferramenta Conversion Tools do ArGis 10.8.

Para geração do arquivo da **Altitude** foi utilizado o Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDE), extraído do portal BH Map, em formato TIF. Para isso o arquivo foi convertido em para Raster (Export Data > Export Raster Data). A **Declividade** do terreno também foi gerada a partir do MDE, por meio da função Spatial Analyst Tools > Surface > Slope. De forma análoga, a **Orientação do Relevo** também foi gerada a partir do MDE, por meio da função Spatial Analyst Tools > Surface > Aspect.

A geração do arquivo de **Proximidade de Estradas** se deu extraíndo a camada Circulação Viária do BH Map, tendo sido feito um recorte com base na área da EEco-UFMG englobando as rodovias do seu entorno/limite. Haja vista que o risco de ocorrência de incêndios por influência das vias varia de acordo com o fluxo de tráfego, o mesmo foi categorizado de acordo com a importância das estradas (**Tabela 10**).

Tabela 10 - Definição das classes de estradas

Classe de estradas	Descrição
Primárias	Estradas de maior extensão, que cruzam praticamente toda a área e sua zona de amortecimento.
Secundárias	Estradas de menor extensão que dão acesso às vias internas da área
Terciárias	Estradas de talhão florestal ou estradas internas de acesso

Fonte: Adaptado de Ramalho *et al.*, 2021.

Utilizando a opção Buffer da ferramenta Geoprocessing foi estabelecida a distância de influência de cada classe de estrada: 50 metros para estradas primárias; 25 metros para estradas secundárias e; 12,5 metros para estradas terciárias. Na sequência foram empregadas as funções Merge e Euclidean Distance para finalização do arquivo.

A avaliação da influência da proximidade de estradas sobre o risco de incêndios foi estabelecida pela Fuzzy Small, com o valor médio correspondente a 200 metros e o fator de propagação da curva de 5. Isso porque, quanto mais próximo de uma via, dentro de um raio de 200 metros, maior o risco de incêndios florestais.

Para elaboração do arquivo de **Temperatura**, foi inicialmente extraído o arquivo de focos de calor do Programa BD Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), para o município de Belo Horizonte, MG, do período de 01/01/2019 a 31/12/2019, em formato Shapefile. A partir do arquivo extraído, foi gerado um mapa de calor no ArGis (Mapa de

Densidade de Kernel) por meio do ArcToolbox > Spatial Analyst Tool > Density > Kernel Density.

A delimitação/classificação das faixas de risco de cada uma das variáveis foi estabelecida com base na referência do trabalho de Ramalho et al. (2021) e está sintetizada nas **tabelas 11 a 15**.

A fuzzyficação das variáveis se deu por meio da função Overlay > Fuzzy Membership. A avaliação da influência do uso e ocupação da terra (**Tabela 11**) foi realizada a partir da função de pertinência Fuzzy Gaussian.

Tabela 11 - Classificação do Risco de Incêndio em função Cobertura e Uso do Solo

Classe de Uso e Ocupação do Terreno (UOT)	Classe de Risco de IF
Solo exposto	Muito baixo
Corpos d'água	Muito baixo
Brejo, áreas úmidas	Baixo
Cerrado stricto sensu, Cerradão (Cerrado Florestado)	Alto
Campo sujo, campo cerrado, campo cerrado alterado	Muito alto
Floresta Nativa	Moderado
Floresta Plantada	Muito alto
Macega e pastagem	Alto

Fonte: Adaptado de Ramalho *et al.*, 2021.

A influência da altitude foi determinada a partir da Fuzzy small, com o ponto médio 600 metros e o fator de propagação da curva de 5 (**Tabela 12**). Quanto maior a altitude, menor é o risco de incêndios, tendo em vista que ocorre uma menor concentração de oxigênio (ar rarefeito) à medida que se aumenta a altitude.

Tabela 12 - Classificação do Risco de Incêndio em função da Altitude

Classes de elevação (m)	Classe de risco
> 1,500	Muito baixo
1,200 – 1,500	Baixo
900 – 1,200	Moderado
600 – 900	Alto
< 600	Muito alto

Fonte: Ramalho *et al.*, 2021.

Para a análise da influência da declividade, foi aplicada a função de pertinência Fuzzy Linear crescente, pois quanto maior a declividade, maior o risco de ocorrência de incêndios florestais (**Tabela 13**).

Tabela 13 - Classificação do Risco de Incêndio em função da Declividade

Classes de declividade	Classe de risco
< 5°	Muito baixo
5° - 10°	Baixo
10,1° - 15°	Moderado
15,1 – 20°	Alto
> 20°	Muito alto

Fonte: Ramalho *et al.*, 2021.

A avaliação da influência da temperatura do ar sobre o risco de incêndios foi dada pela função de pertinência Fuzzy Large, com o valor médio correspondente a 21,1 °C e o fator de propagação da curva de 5 (**Tabela 14**).

Tabela 14 - Classificação do Risco de Incêndio em função da Temperatura

Temperatura do ar	Classe de risco
< 12.8 °C	Baixo
12.9 – 21.1 °C	Moderado
21.2 – 29.4 °C	Alto
> 29.4 °C	Muito alto

Fonte: Ramalho *et al.*, 2021.

A influência da orientação do relevo foi estabelecida pela função de pertinência Fuzzy Generalized Bell, com a face sul assumindo valor de menor risco e as faces norte assumindo valores de maior risco (**Tabela 15**).

Tabela 15 - Classificação do Risco de Incêndio em função da Orientação do Relevo

Orientação do relevo	Face	Classe de Risco
-1	Plano	Muito Baixo
0 – 22.5°	Norte	Muito Baixo
22.5 – 67.5°	Nordeste	Alto
67.5 – 112.5°	Leste	Moderado
112.5 – 157.5°	Sudeste	Baixo
157.5 – 202.5°	Sul	Baixo
202.5 – 247.5°	Sudeste	Baixo
247.5 – 292.5°	Oeste	Moderado
292.5 – 337.5°	Noroeste	Alto
337.5 – 360°	Norte	Muito Alto

Fonte: Ramalho *et al.*, 2021.

A aplicação da Lógica Fuzzy requer que todas as variáveis estejam em formato Raster, tendo sido necessário, portanto, converter a variável UOT para formato matricial, pois era a única que se encontrava em formato vetorial. Foram utilizadas as seguintes funções

ArcToolBox > Conversion Tools > To Raster > Polygon to Raster, com posterior reclassificação das classes de UOT com de acordo com o risco de incêndio estabelecido anteriormente.

O passo seguinte foi a aplicação da sobreposição Fuzzy para todas as variáveis, utilização a função Fuzzy Overlay, tipo Gamma (Spatial Analyst Tools > Overlay > Fuzzy Overlay). Por fim, como o zoneamento de risco de incêndio florestal tem por objetivo facilitar a visualização das áreas, foi realizada uma reclassificação espacial dos valores Fuzzy e posteriormente criadas cinco classes de risco: Muito baixo, Baixo, Moderado, Alto e Muito alto.

Este procedimento teve como objetivo fornecer subsídios que auxiliem na minimização dos efeitos adversos dos incêndios ao realizar o mapeamento do risco de incêndio florestal da EEco-UFMG, utilizando sistema de informação geográfica (SIG) para correlacionar e mensurar a influência de diversos aspectos como fatores vegetação, topografia, temperatura e influência humana no risco de ocorrência de incêndios florestais.

As informações e resultados obtidos por meio do mapeamento do risco de incêndios florestais foram utilizadas para identificar as áreas com maior probabilidade de ocorrência de incêndios, o que permite planejar melhor as ações de prevenção e estabelecer pontos com maior necessidade de monitoramento e locais prioritários para realização de ações de manejo de combustíveis por meio de queimas prescritas.

5 RESULTADOS

5.1 Ecossistemas presentes na EEco-UFMG

Apesar de terem sido encontradas algumas limitações no trabalho de Neves (2002), devido ao fato de o trabalho ter sido elaborado há aproximadamente 22 anos, o estudo serviu como importante base para o reestabelecimento dos limites dos ecossistemas da EEco-UFMG. As limitações encontradas foram: 1) Mudanças nos limites das áreas estabelecidas para cada ambiente, devido ao tempo decorrido; 2) No período de realização do trabalho de Neves (2002) ocorreu um incêndio florestal que dificultou a identificação das características de um dos ambientes, que foi denominado de área queimada; 3) Não foi realizado o zoneamento da área do Quarteirão 15 pertencente à EEco-UFMG, por dificuldades técnicas diversas apontadas pelo autor, principalmente pela dificuldade de acesso e de segurança da área.

Para quase todas as áreas estabelecidas por Neves (2002), verificou-se a necessidade de redefinição dos limites em função das mudanças ocorridas, uma vez que o parâmetro vegetação é muito dinâmico. Algumas redefinições foram realizadas também em função do objetivo do presente trabalho, cujo foco é identificar fitofisionomias semelhantes, que compõem os ecossistemas presentes na EEco-UFMG, possibilitando o estudo de suas relações, interações e adaptabilidade ou não à presença do fogo.

Os resultados obtidos por meio da análise e redefinição dos limites dos ecossistemas foram:

- O ecossistema 1 (**Mata semidecídua com espécies nativas e eucaliptos**), O ecossistema 2 (**Mata semidecídua com espécies nativas e exóticas**) e o ecossistema 4 (**Capineira**) foram fundidos por apresentarem fitofisionomias semelhantes. A capineira passou por processo de regeneração ao longo dos últimos 22 anos, apresentado atualmente características de mata semidecídua. Estes 3 ambientes apresentam características predominantes de mata estacional semidecidual, apesar de presença de algumas espécies exóticas.
- O ecossistema 3 (**Cerrado/Savana Florestada**) apresentou redução no seu limite oeste e expansão para sul/sudeste e atualmente grande parte da área delimitada por Neves (2002) apresenta características predominantes de mata semidecídua. O local apresenta expressivo estrato arbóreo, conforme levantamento feito por Leles (2023) e por confirmações realizadas em campo. Portanto, este ambiente foi reclassificado como área de mata semidecídua.

- O ecossistema 5 (**Mata semidecídua com espécies nativas**) não sofreu alterações significativas.
- Por meio de pesquisa realizada em campo foi identificada uma nova área com características predominantes de mata semidecídua em uma encosta/fundo de vale, localizada entre o eucaliptal e o bosque de leucenas (Ver **figura 17**).

Figura 17 - Novo ecossistema de Mata Semidecídua identificado



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

- O ecossistema 6 (Bambuzal) expandiu sua área de domínio para leste e para oeste.
- O ecossistema 7 (Área brejosa) atualmente se apresenta como uma área úmida por ser fundo de vale. Ou seja, um canal onde a água da chuva percorre apresentando maior umidade na estação chuvosa, que ocorre geralmente entre novembro e março. Por esse motivo, essa área passou a ser chamada de área úmida (fundo de vale).
- O ecossistema 8 (Lagoa), como já indicava o trabalho de Neves (2002), sofreu um processo de assoreamento não apresentando mais um lago, sendo atualmente uma área brejosa, entrecortada pelo Córrego do Mergulhão.
- A área do ecossistema 9 (Sede) não sofreu alterações significativas.
- O ecossistema 10 (Solo exposto) não apresentou alterações significativas.

- O ecossistema 11 (Aterro-Deposição de matéria orgânica) não ocorre mais, tendo sido implantada no local uma Bacia de Contenção de águas pluviais, com área maior do que a ocupada pelo aterro, conforme figura 18.

Figura 18 - Bacia de Contenção de Águas Pluviais



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

- O ecossistema 12 (Eucaliptais) não apresentou alterações significativas;
- Na adjacência oeste da Bacia de Contenção verificou-se a presença de um bosque de Leucenas, conforme apresentado na Figura 19. Esse novo ambiente identificado está localizado na região atingida por incêndio em 2001, que foi definida como área queimada por Neves (2002).

Figura 19 - Bosque de Leucenas



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

- O ecossistema 13 (Capoeira) passou por processo de regeneração e atualmente possui estrato arbóreo mais denso com características predominantes de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual.
- O perímetro definido como Área Queimada por Neves (2002), em sua porção superior (norte/noroeste) passou por avançado processo de regeneração e sucessão ecológica, apresentando atualmente características de Cerrado, com locais variando entre vegetação arbustiva, locais com árvores de médio porte e de grande porte. A parte sul da Área Queimada foi incorporada a Bacia de Contenção de águas pluviais instalada no local entre 2010 e 2014 (Ver **Figura 20**).

Figura 20 - Vegetação característica de Cerrado

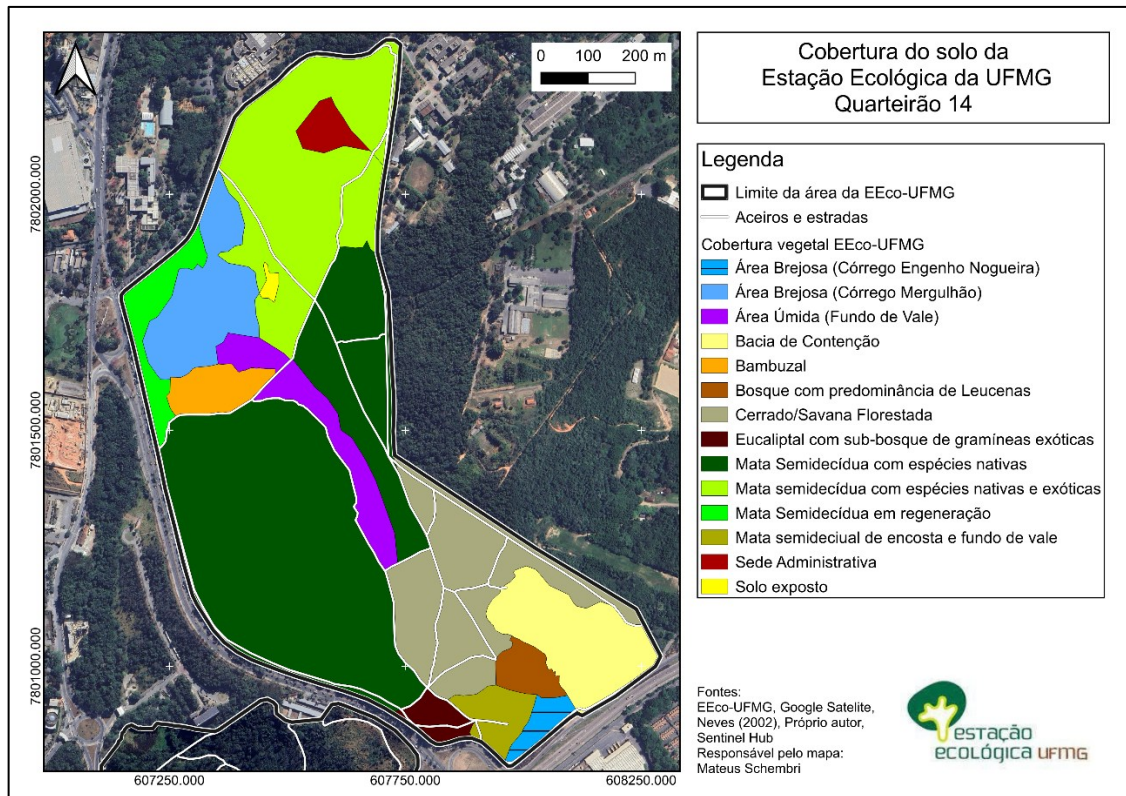


Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

- Foi identificada ainda, uma nova área brejosa, localizada na região sul/sudoeste da área queimada. Essa área brejosa ocorre em função do Córrego Engenho Nogueira que desagua na Estação Ecológica nesse ponto, após percorrer um trajeto canalizado.

A **Figura 21** apresentada a seguir consiste no Mapa das delimitações atualizadas dos ecossistemas do Quarteirão 14 da Estação Ecológica da UFMG.

Figura 21 - Delimitação atualizada dos Ecossistemas do Quarteirão 14 da EEco-UFMG



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Conforme mapa de uso e ocupação do solo das áreas protegidas urbanas da Pampulha (**Figura 13**), elaborado por Leles (2023), a área da EEco-UFMG localizada no quarteirão 15 tem predominância de estrato arbóreo no seu interior e de estrato arbustivo em suas bordas. Para obter maior nível de detalhamento, foram realizadas análises de imagens de satélite e visitas ao local, comprovando, em grande parte, o levantamento feito pela pesquisadora.

Pelas análises, no quarteirão 15 predomina remanescentes do bioma de mata de atlântica, todavia, bastante alterados, principalmente pela alta frequência e intensidade de incêndios florestais ocorridos no local. No interior do local há a presença de remanescentes de árvores de grande porte, atingidas e/ou mortas pela passagem do fogo sem controle, conforme demonstrado na **Figura 22**.

Figura 22 - Árvores atingidas por incêndio florestal no Quarteirão 15



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

No quarteirão 15 foi identificada também, a presença de um grande e denso bosque de Eucaliptos, com indivíduos de grande porte, com um sub-bosque de gramíneas exóticas de origem africana, como o capim colômbio (Ver **Figura 23**).

Figura 23 - Bosque de eucaliptos com sub-bosque de gramíneas exóticas



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Entretanto, há ainda alguns fragmentos de mata semidecídua em melhor estado de conservação o interior da área, localizadas principalmente em fundos de vale, como apresentado na **Figura 24**.

Figura 24 - Remanescentes de mata estacional semidecidual no quarteirão 15



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Na região nordeste do quarteirão 15 foi identificada vegetação predominantemente herbácea, com alguns arbustos e poucos indivíduos arbóreos, bastante alterada provavelmente por incêndios florestais, com forte presença de gramíneas exóticas, como o capim colômbio, a braquiária e o capim elefante, conforme registrado na **Figura 25**.

Figura 25 - Vegetação alterada com presença de gramíneas africanas



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Durante os trabalhos desenvolvidos em campo, foi registrada ainda a presença de pequenas plantações não autorizadas com espécies frutíferas, leguminosas e verduras (banana, mandioca, abóbora, milho, etc), em locais outrora atingidos pelo fogo, como pode ser observado na **Figura 26**.

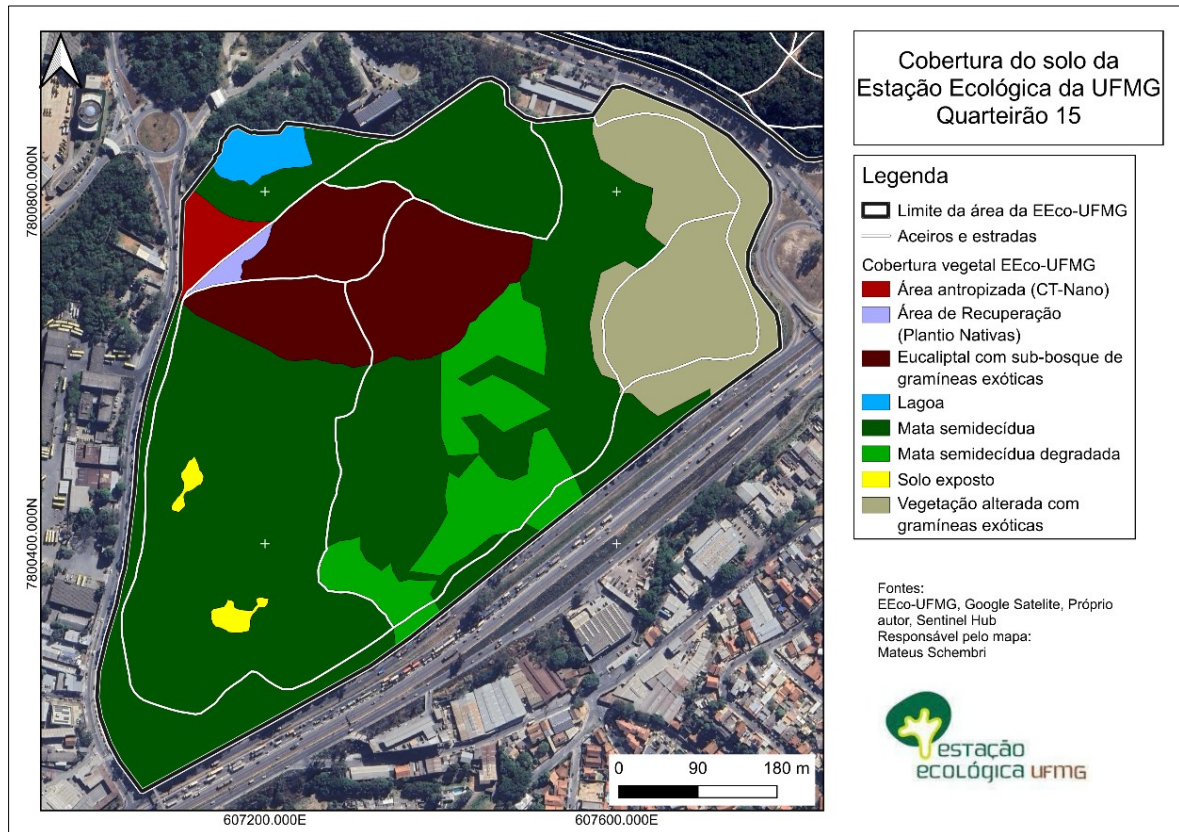
Figura 26 - Plantações não autorizadas no Quarteirão 15



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Com base nas informações levantadas foi elaborada uma proposta de compartimentação por ecossistemas da área do quarteirão 15 pertencente à EEco-UFMG, cujo resultado é apresentado na **Figura 27**, a seguir.

Figura 27 - Mapa de Delimitação dos Ecossistemas do Quarteirão 15



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

5.2 Aspectos Climáticos da EEco-UFMG

O cálculo do Balanço Hídrico Climatológico da EEco-UFMG, seguindo a metodologia desenvolvida por Thornthwaite & Mather (1955), cujos passos foram detalhados na seção Metodologia e no Apêndice A, produziu as informações presentes na **Tabela 16**, apresentada a seguir.

Tabela 16 - Quadro do Balanço Hídrico Climatológico da EEco-UFMG

QUADRO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO DA EEco-UFMG										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Meses	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	P- ETP (mm)	N. Ac. (mm)	Arm. (mm)	Alt. (mm)	ETR (mm)	Def. (mm)	Exc (mm)
Jan	23,7	305,2	117,0	188,3	0,0	100,0	0,0	117,0	0,0	188,3
Fev	23,7	208,9	103,2	105,7	0,0	100,0	0,0	103,2	0,0	105,7
Mar	23,3	203,1	105,5	97,6	0,0	100,0	0,0	105,5	0,0	97,6
Abr	22,3	76,6	87,0	-10,4	-10,4	90,1	-9,9	86,5	0,5	0,0
Mai	20,2	30,9	66,9	-36,0	-46,4	62,9	-27,2	58,2	8,7	0,0
Jun	19,4	11,4	56,5	-45,1	-91,5	40,0	-22,8	34,2	22,3	0,0
Jul	19,2	5,6	56,6	-50,9	-142,4	24,1	-16,0	21,6	34,9	0,0
Ago	20,3	10,2	66,8	-56,6	-199,0	13,7	-10,4	20,6	46,2	0,0
Set	22,5	41,2	87,6	-46,4	-245,5	8,6	-5,1	46,3	41,4	0,0
Out	23,2	150,3	102,7	47,6	-57,7	56,2	47,6	102,7	0,0	0,0
Nov	22,6	247,9	97,3	150,7	0,0	100,0	43,8	97,3	0,0	106,8
Dez	23,0	387,3	108,1	279,2	0,0	100,0	0,0	108,0	0,0	279,2
Ano	22,0	1.678,6	1.055,0	623,7	-	795,6	-	901,1	154,0	777,6

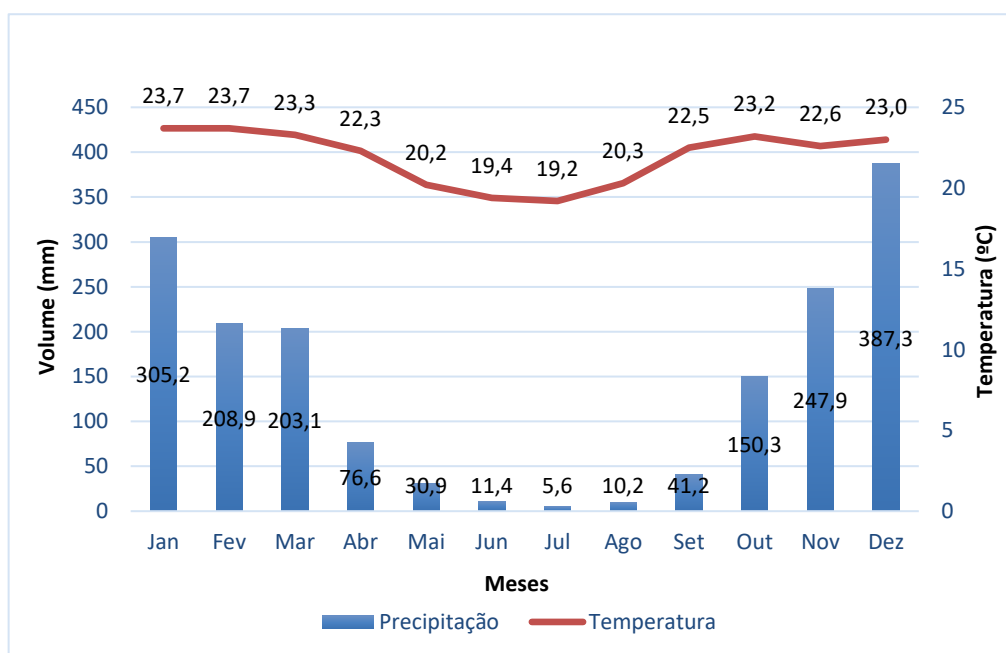
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Onde os parâmetros representam:

- 1 (T) – Temperaturas médias mensais;
- 2 (P) – Precipitação acumulada mensal;
- 3 (ETP) – Evapotranspiração potencial;
- 4 (P – ETP) – Precipitação menos Evapotranspiração potencial;
- 5 (N. AC.) – Negativo acumulado de retirada de água do solo;
- 6 (ARM) – Armazenamento de água no solo;
- 7 (ALT) – Alteração no armazenamento de água no solo, calculado pela subtração do ARM do mês em questão pelo ARM do mês anterior;
- 8 (ETR) – Evapotranspiração real, que ocorre em função da disponibilidade de água no solo;
- 9 (DEF) – Deficiência hídrica, ou seja, a falta de água no solo, sendo calculada por: $DEF = ETP - ETR$;
- 10 (EXC) – Excedente hídrico, ou seja, a quantidade de água que sobra no período chuvoso e se perde do volume de controle por percolação (drenagem profunda) e/ou escoamento superficial.

Pela análise da **Tabela 16**, verifica-se que a EEco-UFMG apresenta temperatura média anual de 22°C e precipitação média anual acumulada de 1.678,6 mm. A partir dos dados das Temperaturas Médias Mensais e da Precipitação Acumulada Mensal foi possível gerar o Climograma da EEco-UFMG (**Figura 28**), por meio do qual é possível visualizar as variações de temperatura e precipitação.

Figura 28 - Climograma da EEco-UFMG (Est. Automática INMET A521: 2008 a 2022)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Pela análise da **Tabela 16** e da **Figura 28**, constata-se que os meses mais quentes do ano são janeiro e fevereiro com temperatura média mensal de 23,7°C. Por sua vez, julho é o mês mais frio, com a temperatura média mensal de 19,2 °C.

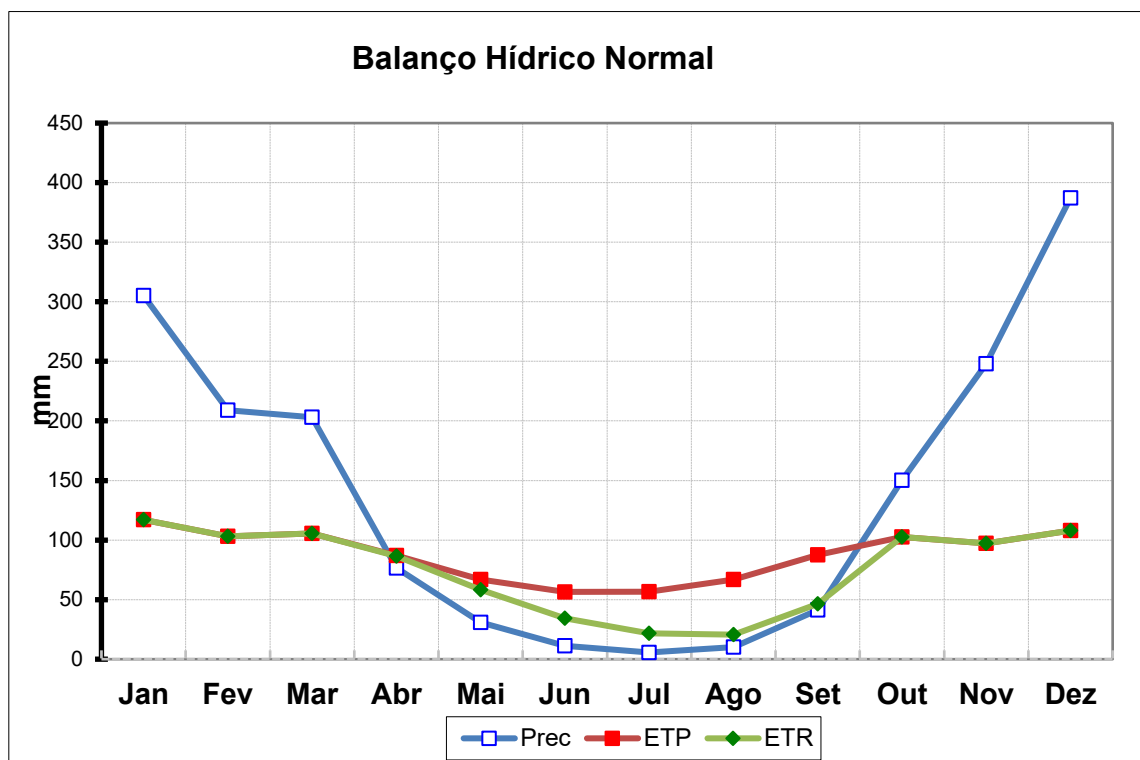
O período chuvoso ocorre entre os meses de janeiro a março e de outubro a dezembro, sendo dezembro o mês com maior índice pluviométrico do ano, chegando a atingir uma média mensal de 387,30mm. A EEco-UFMG apresenta pelo menos 6 meses secos no ano, de abril a setembro, com baixos índices pluviométricos (inferiores a 80mm), chegando a atingir o valor médio de precipitação acumulada de apenas 5,6 mm no mês de julho.

Utilizando as informações produzidas pelo cálculo do Balanço Hídrico Climatológico (**Tabela 16**), foi possível gerar diferentes gráficos, conforme apresentado a seguir.

No gráfico do Balanço Hídrico Normal (**Figura 29**) constata-se que o ano se inicia com valores de precipitação, em torno de 300 mm e vão se reduzindo até atingir valores quase nulos

em junho, julho e agosto. O fluxo de chuvas é retomado a partir de outubro, atingindo o ponto máximo do período em dezembro, com 387,3 mm de precipitação.

Figura 29 - Gráfico do Balanço Hídrico Normal



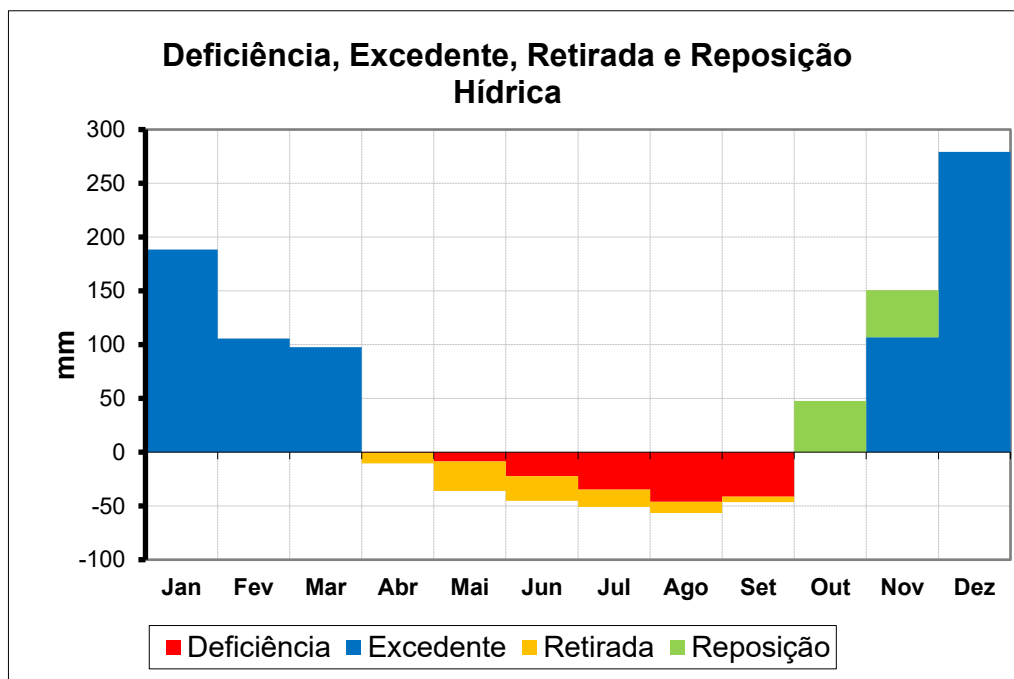
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

De janeiro a março a Evapotranspiração Real (ETR) é igual à Evapotranspiração Potencial (ETP), pois há disponibilidade de água suficiente no solo para que esse processo ocorra de forma plena. No mês de abril inicia-se o processo de retirada de água do solo, em função da redução da precipitação. Neste mês a Evapotranspiração também sofre redução, porém, se mantém superior aos valores de precipitação, o que resulta na retirada de água do solo. O processo de retirada se estende até o mês de setembro com valores de evapotranspiração maiores do que os de precipitação.

De abril até o mês de setembro, a ETR passa a ser menor do que a ETP em função de o solo não estar mais em sua capacidade total de armazenamento, devido à redução das precipitações, ocorrendo a retirada de água do solo, que resulta em **deficiência hídrica**. A partir de maio, até o mês de setembro, as diferenças entre a ETP e ETR aumentam e esta última variável atinge valores cada vez menores, chegando a 20,6 mm no mês de agosto. Com o retorno de chuvas mais expressivas a partir de outubro, os valores da ETP e da ETR voltam a se igualar.

A análise da **Figura 30** permite identificar, em conjunto com as informações da **Tabela 15**, que nos meses de janeiro a março ocorre um **excedente hídrico**, fruto dos volumes mensais de precipitação, em torno de 203 a 305 mm, que superam os valores de evapotranspiração.

Figura 30 - Balanço Hídrico Climatológico da EEco-UFMG



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

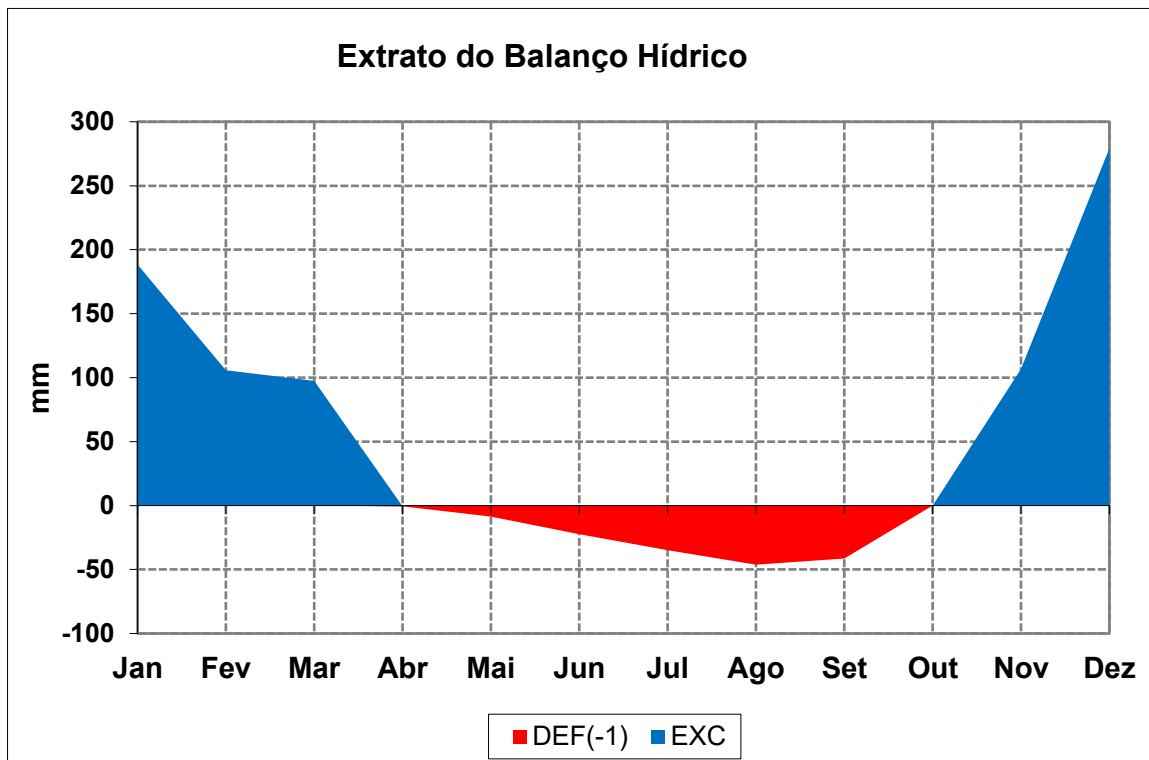
Ainda analisando a **Figura 30** e a **Tabela 16**, percebe-se que a **deficiência hídrica** se inicia com um valor muito pequeno em abril (- 0,5 mm) e começa a se acentuar a partir do mês de maio, se prolongando até setembro. O auge da deficiência de água no solo ocorre no mês de agosto, momento de maior estresse hídrico, atingindo o valor de 46,2 mm negativos.

No mês de outubro, com o retorno de quantidades mais expressivas de chuvas (em torno de 150,3mm), inicia-se o processo de **reposição de água** no solo, ou seja, começa a ocorrer a recarga da água retirada nos meses anteriores. Porém, a quantidade precipitada no mês de outubro ainda não é suficiente para gerar **excedente hídrico** expressivo, o que começa a ocorrer somente a partir de mês de novembro, tendo seu auge no mês de dezembro ao atingir 279,2 mm.

5.2.1 Janelas de Queimas Prescritas

A **Figura 31**, referente ao “Extrato do Balanço Hídrico”, também gerada a partir das informações da **Tabela 16**, permite uma visualização mais objetiva da dinâmica do excedente e da deficiência hídrica no solo, possibilitando entender como ocorre a oscilação dessas variáveis em função, principalmente, da precipitação.

Figura 31 - Extrato do Balanço Hídrico da EEco-UFMG



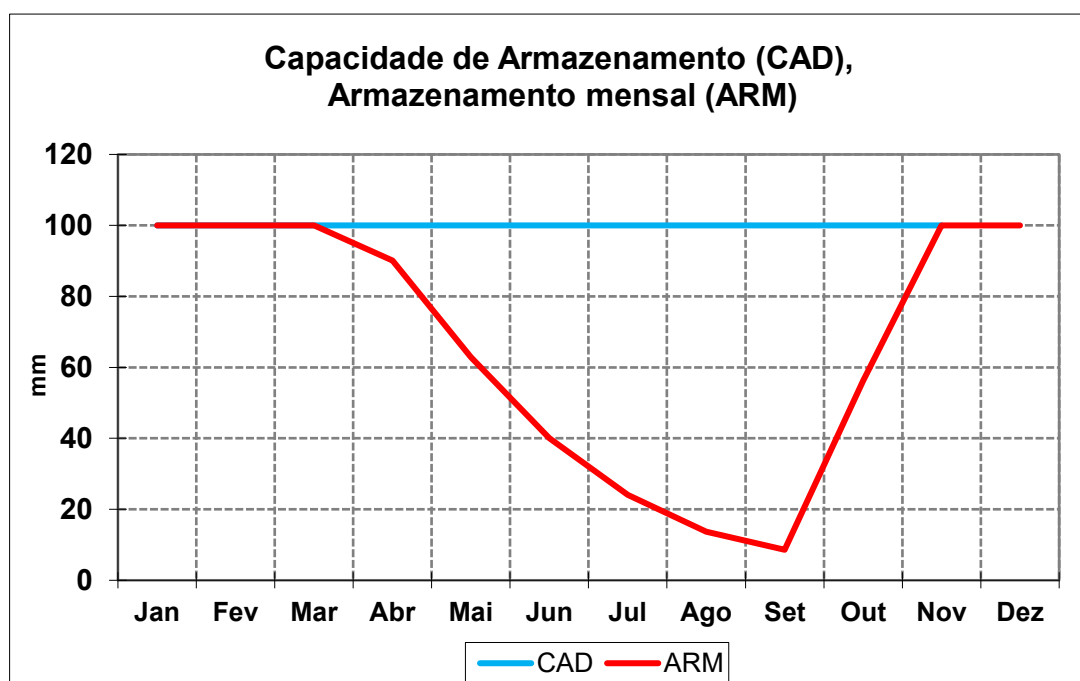
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Verifica-se que o ponto de maior excedente hídrico ocorre em dezembro, quando as precipitações atingem um total acumulado em torno de 387 mm. De janeiro a março também ocorre excedente hídrico, que vai gradativamente se reduzindo até iniciar a deficiência hídrica no mês de abril.

A deficiência se agrava de maio até agosto, quando atinge seu auge, e prossegue até o mês de setembro. A partir de outubro começa a ocorrer um pequeno excedente hídrico e se inicia o processo de recarga de água no solo e com a intensificação das chuvas em novembro ocorre um excedente que se perde por percolação (drenagem profunda) e/ou escoamento superficial.

Pela análise da **Figura 32** é possível identificar que o armazenamento mensal se iguala à capacidade de armazenamento (foi adotado o índice de 100 mm de CAD) nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro, quando há uma grande disponibilidade de chuvas e ocorre excedente hídrico. Nos demais meses o armazenamento é inferior à capacidade, atingindo situações críticas de junho a setembro, com valores inferiores a 40 mm, chegando a 8,6 mm em setembro. Ou seja, nos meses de estiagem, o armazenamento de água no solo se reduz drasticamente, especialmente em setembro, devido à diminuição gradual e contínua da água do solo em razão da redução acentuada da precipitação, que resulta na retirada de água do solo e em deficiência hídrica nesses meses.

Figura 32 - Capacidade de Armazenamento x Armazenamento Mensal



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Os resultados obtidos pelo cálculo do Balanço Hídrico da EEco-UFMG permitiram identificar que a área protegida em questão apresenta dois momentos bem distintos de disponibilidade de água no solo. O ano inicia com um **excedente hídrico** que se estende de janeiro a março. Os meses de janeiro, fevereiro e março apresentam elevados valores de excedente hídrico, em geral próximos ou superiores a 100 mm.

O segundo momento, o da **deficiência hídrica**, ocorre entre abril e setembro, iniciando de forma pouco expressiva em abril, com apenas 0,5 mm deficiência. Nos meses de maio, junho e julho, a deficiência vai gradativamente se acentuando, atingido o auge em agosto, com

deficiência de 46,2 mm. O terceiro momento também é de excedente hídrico, que se inicia em outubro com o retorno das precipitações, tendo seu auge no mês de dezembro ao atingir um valor de excedente em torno de 279 mm.

Com base nas informações geradas pelo cálculo do Balanço Hídrico da EEco-UFMG, somadas aos conhecimentos trazidos por meio da revisão de literatura, é possível tecer recomendações sobre os períodos viáveis e inviáveis para aplicação de queimas prescritas, no âmbito do manejo integrado do fogo, para gestão de combustível na EEco-UFMG, visando a prevenção de incêndios florestais.

Portanto, os meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro são inviáveis para aplicação de queimas prescritas, pois nos referidos meses o armazenamento de água no solo está em sua capacidade máxima, devido à grande quantidade de chuvas que ocorre nesse período. Por esse motivo, a vegetação apresentará grande quantidade de umidade o que inviabilizará a realização das queimas de forma satisfatória. Nesse período é necessária uma quantidade muito elevada de energia (calor) para desidratar a vegetação, dificultando o início e a manutenção do processo de combustão.

A partir do mês de abril começa a ocorrer uma redução dos valores de precipitação, havendo uma pequena retirada de água do solo nesse mês, porém, não apresentando ainda deficiência hídrica. Portanto, no mês de abril há viabilidade de realização de queimas prescritas, porém, o sucesso do trabalho dependerá das condições meteorológicas nas datas estabelecidas, pois neste mês o armazenamento de água no solo ainda está elevado, em torno de 90mm.

Nos meses de maio e junho as chuvas são poucas e o armazenamento de água no solo se reduz apresentando valores médios de 60,9mm e 40mm, respectivamente. Nesses meses as temperaturas médias mensais são menores do que nos demais períodos do ano, entre 19,4°C e 20,2°C (ver **Tabela 16**). Constata-se, portanto, que esses são os meses mais propícios e recomendados para realização de queimas prescritas, pois a vegetação estará em um nível de hidratação que permitirá a ação do fogo controlado, sem que o mesmo seja maléfico ao ecossistema e com baixo risco de os agentes de campo perderem o controle do mesmo.

Os meses de julho, agosto e setembro apresentaram os níveis mais críticos de deficiência de água no solo, atingindo valores negativos de 34,9mm, 46,2mm e 41,4mm, respectivamente. Esses são os meses mais críticos para ocorrência de incêndios florestais na EEco-UFMG, não sendo recomendada a realização de queimas nesse período. Ou seja, as queimas prescritas devem ocorrer entre abril e junho para que, no período crítico de ocorrência incêndios, o combustível já tenha sido manejado, retirando grande parte do material. Dessa forma, a possibilidade de propagação do fogo descontrolado será reduzida, mesmo diante do

agravamento das condições meteorológicas de baixa umidade relativa e temperaturas elevadas que ocorrem em agosto e setembro.

O mês de outubro apresenta boa quantidade de precipitação (em torno de 150 mm), iniciando-se a recarga de água no solo, porém, sem atingir a capacidade máxima de armazenamento e sem gerar excedente. Porém, nesse mês também não é recomendada a aplicação de queimas prescritas, principalmente por questões biológicas, pois é quando se inicia o ciclo reprodutivo de grande maioria das espécies do cerrado e da mata atlântica.

Diante do exposto, a janela de oportunidade para realização das queimas prescritas na EEco-UFGM ocorre de abril a junho. O período crítico para ocorrência de incêndio ocorre de julho a setembro, meses em que é necessário maior monitoramento da área e outras ações de prevenção.

5.2.2 Padrões Microclimáticos da EEco- UFGM

De posse dos dados climatológicos adquiridos por meio dos *dataloggers* instalados na EEco-UFGM e após devidos tratamentos, foi possível a análise dos mesmos para verificar padrões microclimáticos que ocorrem no local.

A análise das máximas, médias e mínimas absolutas dos dados coletados (**Tabela 17**) apontou que a maior medida de temperatura do período foi de 31,3°C, no dia 18/04/2023, registrada no ponto 2 (Lagoa Seca). Nesse mesmo ponto registrou-se também a menor medida absoluta de temperatura, de 12,2°C, no dia 02/05/2023.

Tabela 17 - Máximas absolutas, médias, mínimas absolutas e amplitude de temperatura

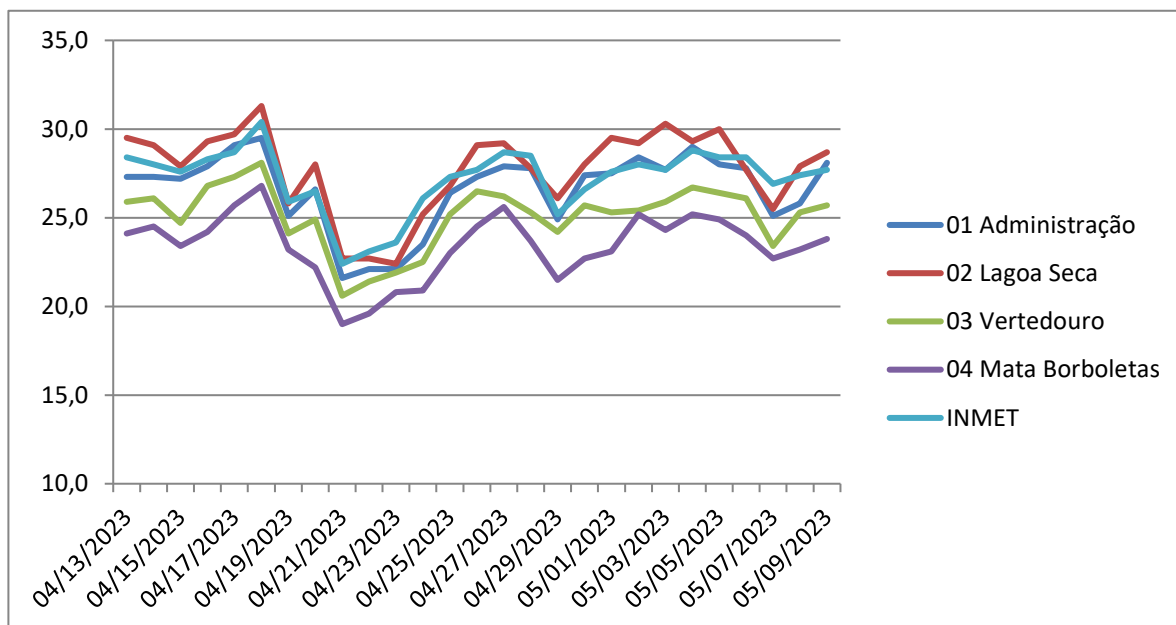
TEMPERATURA (°C)	Ponto 01 Administração	Ponto 02 Lagoa Seca	Ponto 03 Vertedouro	Ponto 04 Mata Borboletas	Estação INMET
Máxima Absoluta	29,5	31,3	28,1	26,8	30,4
Média	20,8	19,9	19,0	19,5	21,5
Mínima Absoluta	14,7	12,2	12,4	14,3	14,3
Amplitude	14,8	19,1	15,7	12,5	16,1

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A análise do gráfico das máximas diárias de temperatura (**Figura 33**) apontou que o ponto 2 (Lagoa Seca) apresentou as maiores máximas de temperatura na maior parte do período da coleta, seguido da Estação INMET, cujas temperaturas em alguns momentos ultrapassou as medições realizadas no ponto 2 (Lagoa Seca). O ponto 1 (Administração) também apresentou

temperaturas máximas elevadas em comparação aos pontos 3 e 4. No ponto 4 (Mata das Borboletas) foram registradas as menores medidas de temperaturas máximas, seguido do ponto 3 (Vertedouro).

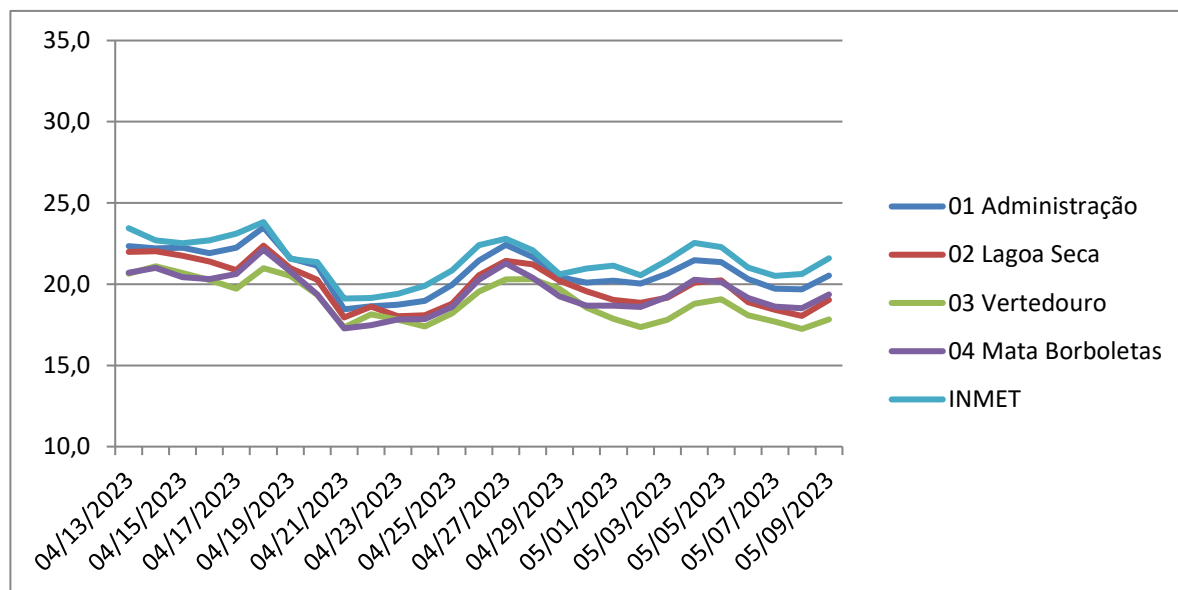
Figura 33 - Gráfico de Temperaturas máximas diárias dos pontos no período da coleta



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A análise do gráfico de temperaturas máximas diárias é de extrema importância quando avaliamos as condições para início da ignição e para manter uma combustão. Considerando essa variável isoladamente, quanto maiores as temperaturas do ar, do solo e da vegetação (combustível), mais fácil será iniciar e manter uma queima.

Analisando a **Figura 34**, gráfico das médias diárias de temperatura, foi possível constatar que a estação INMET-Pampulha apresentou as maiores médias, seguida do ponto 1 (Administração) e tendo o ponto 3 (Vertedouro) como o local que apresentou as menores médias. Por apresentar um gradiente térmico elevado, o ponto 2 (Lagoa Seca) não se destacou com relação às temperaturas médias.

Figura 34 - Gráfico de Temperaturas médias diárias dos pontos no período da coleta

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

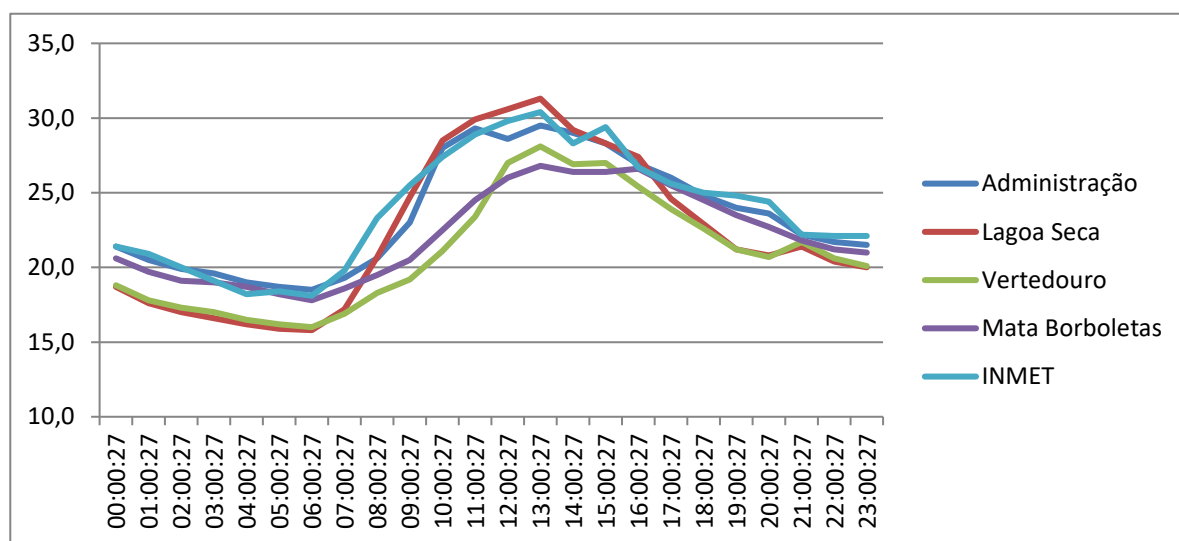
A análise diária das medições de temperatura horária do ar, como exemplificado na **Figura 35** a seguir, referente ao dia 18/04/2023, que apresentou os maiores valores de temperatura durante o período da coleta, permitiu identificar os seguintes padrões:

- O ponto 1 (Administração) apresentou picos de temperatura nos horários mais quentes do dia, por volta de 13 horas, com padrões similares aos da Estação INMET-Pampulha. Ambos os locais permitem uma incidência expressiva de raios solares por possuírem estrato arbóreo somente no entorno dos pontos. O ponto 1 possui estruturas próximas como uma olaria, mas também há um gramado no local com algumas árvores espalhadas.
- O ponto 2 (Lagoa Seca) apresentou as menores temperaturas nos horários iniciais e finais dos dias, porém, com expressivo aumento nas horas de maior incidência solar, por volta de 13 horas, atingindo valores superiores aos demais pontos. A Lagoa Seca apresentou, portanto, os maiores gradientes de calor, possivelmente em função das suas características já mencionadas de solo exposto, sem presença de estrato arbóreo propiciando rápida absorção e perda de calor, com maior efeito da advecção.
- O ponto 3 (Vertedouro) também apresentou baixas temperaturas no início e final dos dias, porém, não houve um aumento tão expressivo nos horários de maior incidência de raios solares, como aconteceu no ponto 2. Esse fato pode estar relacionado à localização do ponto em uma área de depressão, com baixa altimetria de 815m, e também devido à presença

de um curso hídrico, estrato arbóreo e vegetação típica de área brejosa no entorno, apesar de o local dividir espaço com uma rua interna da UFMG.

- O ponto 4 (Mata das Borboletas), por sua vez, apresentou menor variação de temperatura ao decorrer do dia, com menor amplitude térmica, o que pode estar relacionado à presença de mata semidecidual, cujo dossel reduz a entrada da radiação direta do sol e dificulta a ação das correntes de advecção.

Figura 35 - Gráfico da Temperatura do ar horária (°C) em 18/04/2023



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

De forma contrária à influência que a temperatura exerce nos incêndios florestais, quanto maior a umidade relativa do ar (UR), mais difícil se torna o início do processo de combustão, bem como manter essa reação química, pois será necessária maior quantidade de energia (calor) para desidratar o combustível. Portanto, dias e momentos em que a UR está baixa, analisando essa variável de forma isolada, são mais propensos à ocorrência de incêndios florestais.

Pela análise da **Tabela 18**, referente ao parâmetro umidade relativa (UR), o ponto 3 (Vertedouro) apresentou a maior máxima absoluta e a maior média de UR, situação que pode ser explicada em função do local ser próximo ao curso d'água Córrego do Mergulhão e pela presença de estrato arbóreo próximo ao ponto. A menor mínima de UR foi registrada pela estação INMET-Pampulha, seguida do valor registrado no Ponto 2 (Lagoa Seca), situação que pode ser entendida pela localização da Estação INMET em altitude de 869 metros e em função do ponto 2 ser uma área aberta com solo exposto (pouca vegetação), o que favorece a retirada

de umidade. Dos dados coletados por meio dos dataloggers HT-4000, a menor medida de umidade relativa ocorreu no ponto 2, em que foram registrados 37% de UR.

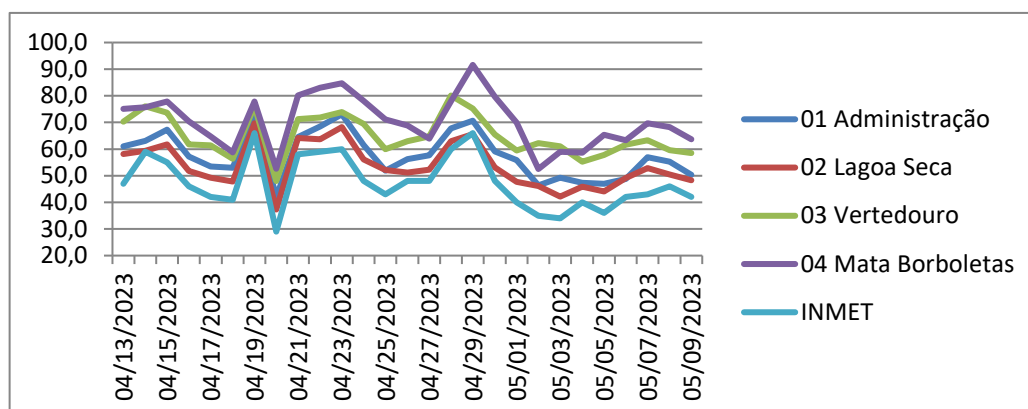
Tabela 18 - Máxima absoluta, média, mínima absoluta e amplitude de umidade relativa

UMIDADE RELATIVA DO AR (%)	Ponto 01 Administração	Ponto 02 Lagoa Seca	Ponto 03 Vertedouro	Ponto 04 Mata das Borboletas	Estação INMET
Máxima Absoluta	100	100	101	101	93
Média	82	83	89	88	69
Mínima Absoluta	42	37	48	52	29
Amplitude	58	62	53	48	64

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Ao se analisar a **Figura 36** (Gráfico das mínimas diárias de UR) observamos a seguintes condições:

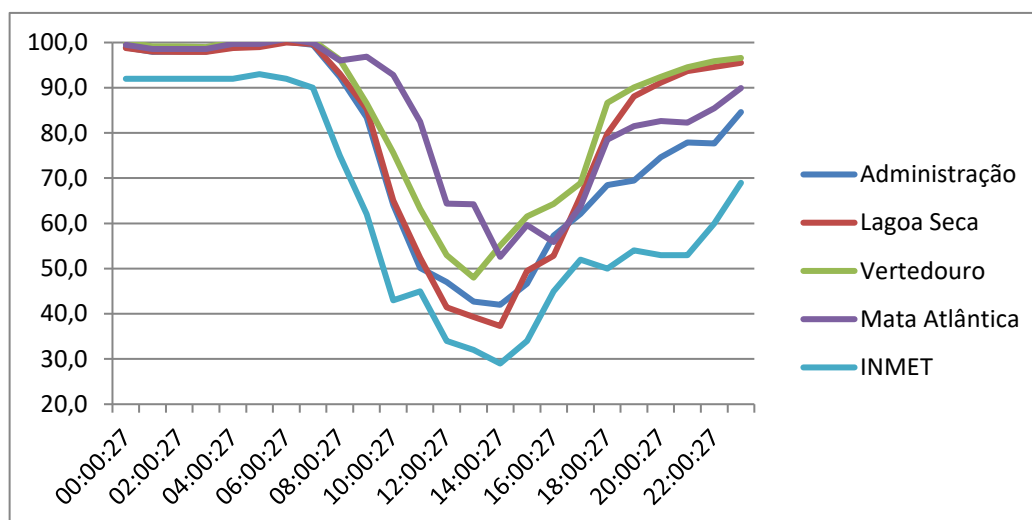
- A Estação INMET-Pampulha apresentou os menores valores de umidade relativa, chegando a registrar 29% de UR no dia 20/04/2023. A referida estação está localizada em um ponto com uma das maiores altimetrias da EEco-UFMG, com 869m de altitude. O local possui uma faixa de descontinuidade de vegetação em seu entorno, que permite expressiva entrada de radiação solar e está inserido em ambiente de savana (cerrado) com espécies arbóreas de médio porte em seu entorno.
- Na sequência, os pontos 1 (Administração) e 2 (Lagoa Seca) apresentaram também baixos valores de mínimas diárias de UR. Os dois locais recebem radiação solar direta e estão propensos à ação da advecção dos ventos, por serem locais com pouca vegetação e pouco sombreamento, o que contribui para a queda da UR nos momentos mais quentes do dia.
- Os pontos 3 (Vertedouro) e 4 (Mata das Borboletas) apresentaram os maiores valores de mínima diária de UR durante o período da coleta. No ponto 3 (Vertedouro) há a presença do curso hídrico Córrego do Mergulhão e o local é de baixa altimetria, com 815m. O ponto 4 (Mata da Borboletas) está inserido em ambiente de mata atlântica, com árvores apresentando um dossel denso.

Figura 36 - Gráfico das Mínimas diárias de umidade relativa

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A análise dos valores diários de umidade relativa dos 4 pontos onde foram instalados os *dataloggers* e da estação INMET-Pampulha, permitiu identificar os padrões apontados a seguir, conforme exemplificado na **Figura 37**, referente aos dados coletados no dia 20/04/2023:

- Os pontos 1 (Administração) e 2 (Lagoa Seca) apresentaram padrões semelhantes, com altos valores de UR nos horários iniciais e finais dos dias, com queda acentuada de UR entre 12 e 15 horas e grandes amplitudes/gradientes diários de umidade relativa.
- Os pontos 3 (Vertedouro) e 4 (M. Borboletas) demonstraram menor oscilação com relação ao parâmetro umidade relativa, apresentando queda nos horários de maior incidência de raios solares, porém, menos expressiva do que nos pontos 1 e 2, resultando em menores amplitudes de UR.
- A estação automática INMET-Pampulha apresentou, de modo geral, os menores valores de umidade relativa no período.

Figura 37 - Gráfico de Umidade relativa em 20/04/2023

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Por meio desta análise foi possível observar que, em microescala, os componentes locais, tais como a vegetação, exposição solar, recursos hídricos, estruturas físicas e a altitude exercem forte influência no microclima. Estes componentes físicos podem atenuar ou agravar as condições atmosféricas e meteorológicas atuantes em determinado período.

Conforme resultados apresentados, locais de vegetação densa com presença de espécies arbóreas de grande porte, apresentando expressiva camada de dossel, conseguem barrar parte da radiação solar resultando em temperaturas mais amenas e menores oscilações deste parâmetro ao longo do dia. Locais com a presença de cursos hídricos (córregos, rios, lagoas, brejos, nascentes etc.), combinado com outros fatores como vegetação arbórea e baixa altitude, geralmente apresentam melhores condições de umidade relativa do ar e temperatura mais agradáveis.

Estas condições dificultam ou, pelo menos, atenuam a possibilidade de ocorrência de incêndios florestais. Em decorrência disso, nestes tipos de ecossistemas (mata semidecídua, mata de galeria, áreas de nascentes etc.), via de regra, não é comum a presença do fogo e, portanto, são sensíveis ao fogo e devem ser protegidos pela gestão da EEco-UFMG. Ou seja, são alvos de conservação que devem ser protegidos dos incêndios florestais e onde não é recomendada a aplicação de queimas prescritas no âmbito do MIF.

Por outro lado, ambientes que recebem muita exposição solar, onde não há presença de vegetação arbórea densa e/ou cursos hídricos, absorvem muito calor nas horas mais quentes do dia atingindo temperaturas mais elevadas e menores índices de umidade relativa do ar. As edificações e estruturas físicas em geral também favorecem a absorção de calor e aumento da

temperatura do local. Em áreas antropizadas, com solo pavimentado ou solos expostos, ocorrem expressivas variações de temperatura e UR ao decorrer o dia. Áreas de cerrado, que permitem a entrada de ondas curtas e cujas superfícies da vegetação possuem alto índice de reflectividade, também podem apresentar altos gradientes de temperatura e de umidade relativa.

Nestes tipos de ambientes, a exemplo de algumas fitofisionomias de Cerrado e de locais próximos a áreas antropizadas, as plantas geralmente são mais inflamáveis e há uma maior propensão para ocorrências de incêndios e, por isso, requerem maior atenção e monitoramento. Geralmente são ecossistemas que evoluíram com a presença do fogo e são, portanto, adaptados a um regime ecologicamente adequado de fogo, onde é possível a gestão de combustível por meio de queimas prescritas, caso seja constatada a necessidade de se implementar esta ação.

Além de auxiliar na identificação dos ambientes sensíveis e dos adaptados ao fogo, conforme exposto acima, as informações geradas por meio da análise do microclima da EEco-UFMG, permitiram também apontar os melhores horários do dia para realização de queimas prescritas, bem como os horários que devem ser evitados. Conforme exemplificado nas **Figuras 35 e 37**, os melhores horários para realização de queimas prescritas são o início e final do dia que apresentam temperaturas mais amenas e UR mais elevada, devendo-se evitar a realização deste procedimento no período entre 11h00 e 16h00, que registram as maiores medições de temperaturas e menores percentuais de umidade relativa do ar.

Este estudo contribuiu, ainda, para entender a dinâmica das mudanças de estado e das características do combustível no decorrer do dia, mostrando que devido ao aumento da temperatura e queda da umidade do ar nas horas mais quentes do dia o combustível estará mais desidratado nesses horários. No final do dia, passando pela noite e indo até o início do dia seguinte, com a queda da temperatura e aumento da umidade do ar, a vegetação recupera parte da água perdida. Pode-se concluir também que a vegetação se desidratará menos nos locais com presença de dossel e mata e de cursos hídricos, do que nos locais que recebem maior incidência solar.

5.3 Regime de Fogo da EEco-UFMG

A ausência de dados sistematizados sobre as ocorrências de incêndios florestais na EEco-UFMG dificultou o trabalho de avaliação do regime em que o fogo vem ocorrendo na área. Por meio de revisão bibliográfica, de pesquisa por reportagens sobre o tema, da análise das informações e documentos disponíveis no acervo da EEco-UFMG, em conjunto com o procedimento de avaliação das imagens do Google Earth Pro e do Sentinel HUB e utilizando

ainda, os dados levantados/registrados em campo, foi possível obter informações que apontam importantes características do regime de fogo da área protegida.

Por meio da revisão de literatura verificou-se que há relatos de ocorrência de incêndios florestais na EEco-UFMG desde a década de 80, conforme apontado por Ribeiro (2007 *apud* Pont, 2008). De acordo com Neves (1998 *apud* Neves, 2002) eram frequentes os incêndios florestais na região sul da área protegida. Fotos e vídeos do acervo da EEco-UFMG também, evidenciaram a ocorrência de incêndios no local. Apesar de não apresentarem informações precisas sobre as datas, os locais, a extensão das áreas queimadas etc., essas referências permitiram o cruzamento de dados e auxiliaram na busca por mais informações, indicando períodos e regiões que deveriam ser analisados utilizando imagens de satélite.

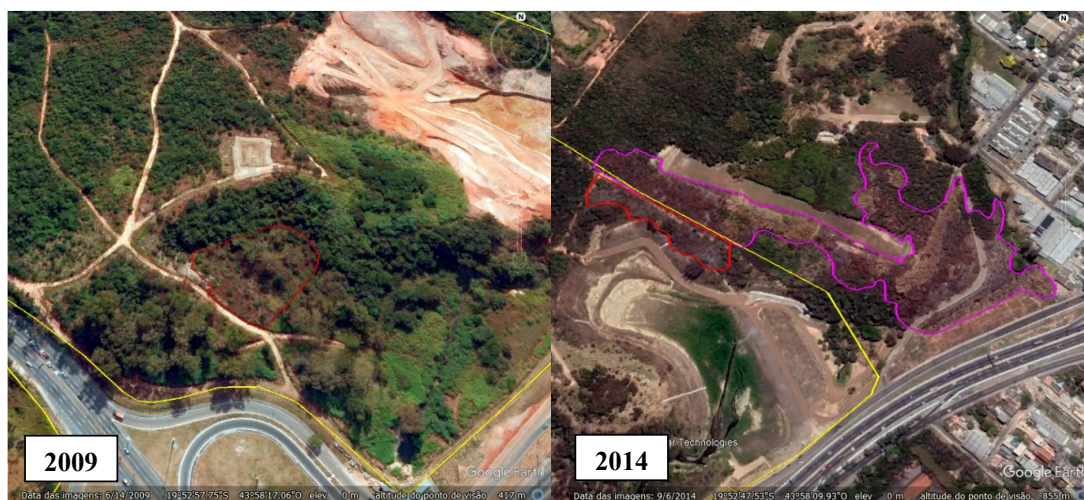
O primeiro registro localizado de área queimada por incêndio florestal na EEco-UFMG, foi de um episódio ocorrido em 2001, com extensão de 16,6 hectares localizados no Quarteirão 14. O registro foi feito por Neves (2002) e de acordo com o autor foram atingidas uma área de Cerrado, áreas com a presença de capins, eucaliptos e árvores frutíferas exóticas. A **Figura 12 – Mapa de delimitação dos ecossistemas da EEco-UFMG (Quarteirão 14)**, mostra a referida área queimada.

Utilizando a ferramenta de visualização de imagens históricas, do Google Earth Pro, foi possível identificar a ocorrência de 11 (onze) episódios de passagem de fogo e as respectivas áreas queimadas, em um período de 16 (dezesesseis) anos, de 2009 a 2024. Estas áreas queimadas foram identificadas nas imagens por um polígono com perímetro na cor vermelha.

Pela análise das imagens do Sentinel Hub EO Browser foram identificadas 08 (oito) ocorrências de incêndios florestais na EEco-UFMG, entre 2016 e 2024. Os polígonos das respectivas áreas queimadas estão identificados nas imagens com a cor azul.

A **Figura 38** mostra dois registros de áreas queimadas localizadas no Quarteirão 14 em 2009 e 2014, respectivamente. Em imagem de satélite do Google Earth Pro, datada de 14/06/2009, foi verificada uma pequena área atingida por fogo (0,43 hectares), localizada próximo ao ponto onde foi instalada a Bacia de Contenção de Águas Pluviais (área com solo exposto na imagem), sob a gestão da Prefeitura de Belo Horizonte.

Figura 38 - Áreas queimadas no quarteirão 14 em 2009 e 2014



Fonte: Google Earth Pro, 2009; Google Earth Pro, 2014.

Em 2014 ocorreu um incêndio próximo ao mesmo local, dessa vez, à nordeste da Bacia de Contenção, conforme pode ser verificado na imagem de satélite com data de 06/09/2014, presente na **Figura 38**. Esta área, contendo 0,6 hectares queimados, foi identificada a partir da imagem do Acervo da EEco-UFMG contendo uma delimitação de área atingida por fogo (**Figura 7**). Neste mesmo episódio de fogo, foi queimada também uma extensão de 4,15 hectares localizada na área do Exército Brasileiro, na adjacência do limite da EEco-UFMG, delimitado com um polígono na cor roxa, como pode ser visto na **Figura 38**.

Após 2014, com a instalação e o início de operação da Bacia de Contenção não mais foram registradas ocorrências de incêndio na região (Quarteirão 14), provavelmente devido à presença constante de funcionários no local e ao cercamento com tela tipo alambrado.

Ainda em 2014, dessa vez localizada no Quarteirão 15, foi identificada outra área atingida por fogo, conforme mostra a **Figura 39**. Foi queimada uma extensão de 0,93 hectares, próximo à via marginal do Anel Rodoviário Celso Melo Azevedo. Deste então, todas as demais áreas queimadas identificadas estão localizadas no Quarteirão 15.

Figura 39 - Área queimada no quarteirão 15 (Registrada em 19/04/2014)



Fonte: Google Earth Pro, 2014.

Em 2015 foi identificada uma área queimada de maior extensão (8,37 hectares), na mesma região do incêndio ocorrido em 2014 no Quarteirão 15, conforme mostra a **Figura 40**, a seguir. É provável que o fogo tenha iniciado às margens do Anel Rodoviário e avançado para interior da área, tendo em vista a inclinação do terreno, que apresenta menor altitude em suas bordas.

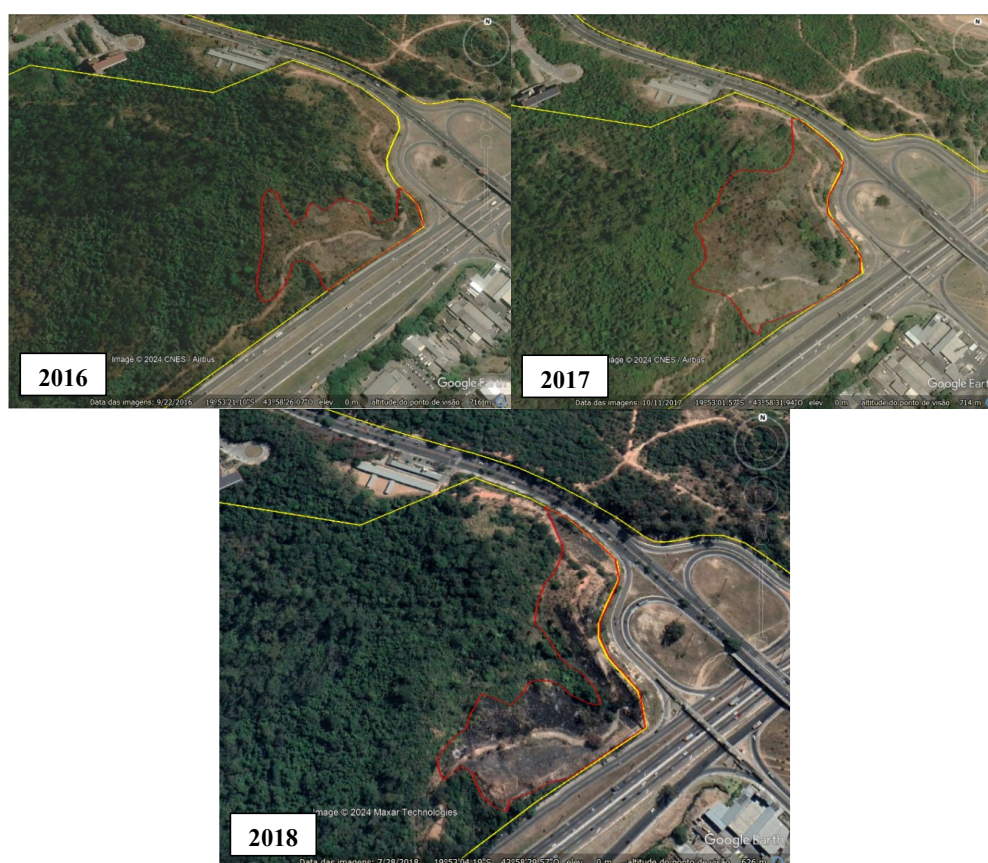
Figura 40 - Área queimada no quarteirão 15 (Registrada em 30/09/2015)



Fonte: Google Earth Pro, 2015.

Nos anos de 2016, 2017 e 2018 foram registradas áreas queimadas muito semelhantes quanto à localização, tamanho da área e período de ocorrência, conforme apresentado na **Figura 41**. As imagens foram registradas entre julho e outubro, meses que fazem parte do período crítico de incêndios florestais. As áreas queimadas foram de 1,93 ha, 4,13 ha e 2,53 ha de extensão, respectivamente.

Figura 41 - Áreas queimadas em 2016, 2017 e 2018

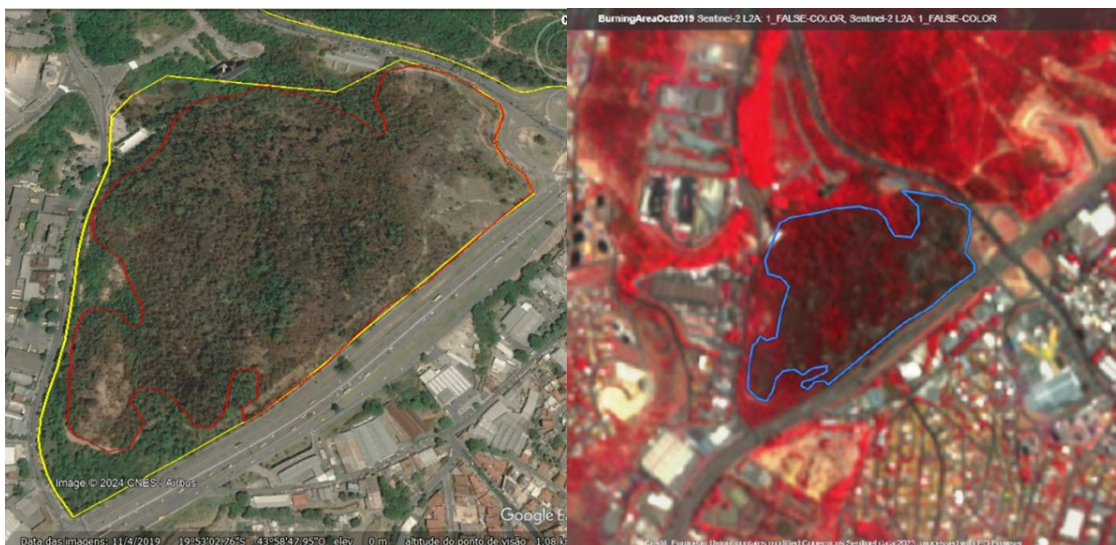


Fonte: Google Earth Pro (2016, 2017 e 2018).

Em 2019 ocorreu um incêndio de grandes proporções em que foi atingida uma área de aproximadamente 29,6 ha, o que representa 84,57% da área da EEco-UFMG localizada no quarteirão 15, que é de 35 ha. A **Figura 42** mostra a área atingida pelo fogo, sendo composta por imagens provenientes de diferentes fontes de dados.

A área queimada identificada por meio do Google Earth Pro está sinalizada/demarcada com um polígono na cor vermelha. A imagem obtida pelo Sentinel Hub, no esquema “falsa cor” mostra a vegetação em cor avermelhada e a área queimada em coloração escura, sendo delimitada por um polígono de cor azul. Pelas imagens é possível constatar que o incêndio em questão foi de grande intensidade e severidade atingindo quase toda a extensão da área.

Figura 42 - Área queimada no bairro 15 em 2019



Fontes: Google Earth Pro, 2019; Sentinel Hub, 2019.

Nos anos de 2020 e 2021 foram registradas áreas queimadas na mesma região do bairro 15, localizada próximo ao encontro da Avenida Presidente Carlos Luz e o Anel Rodoviário. Em 2020 foi queimada uma pequena área (1 hectare) e a área queimada em 2021 foi de 1,3 hectares e situa-se próximo à estrutura de uma antiga cavalaria da Polícia Militar de Minas Gerais, conforme **figura 43**.

Figura 43 - Áreas queimadas em 2020 e 2021

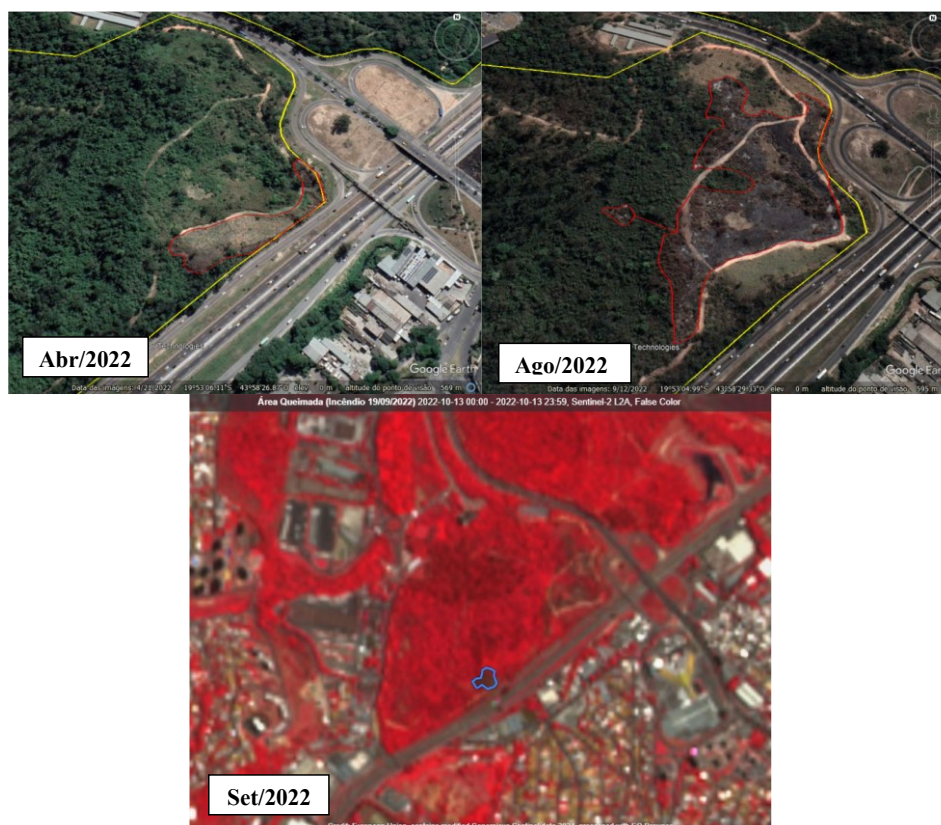


Fontes: Sentinel Hub, 2020; Google Earth Pro, 2021.

Em 2022 o fogo atingiu o bairro 15 em três momentos distintos: o primeiro foi no mês de abril em que uma pequena extensão (0,67 ha) foi atingida; a segunda ocorrência, de maior extensão, foi registrada em agosto e atingiu uma área de 3,37 ha; no terceiro momento

foi atingida uma pequena área, inferior a 01 hectare, no mês de setembro, conforme mostra a **Figura 44**.

Figura 44 - Áreas queimadas em 2022

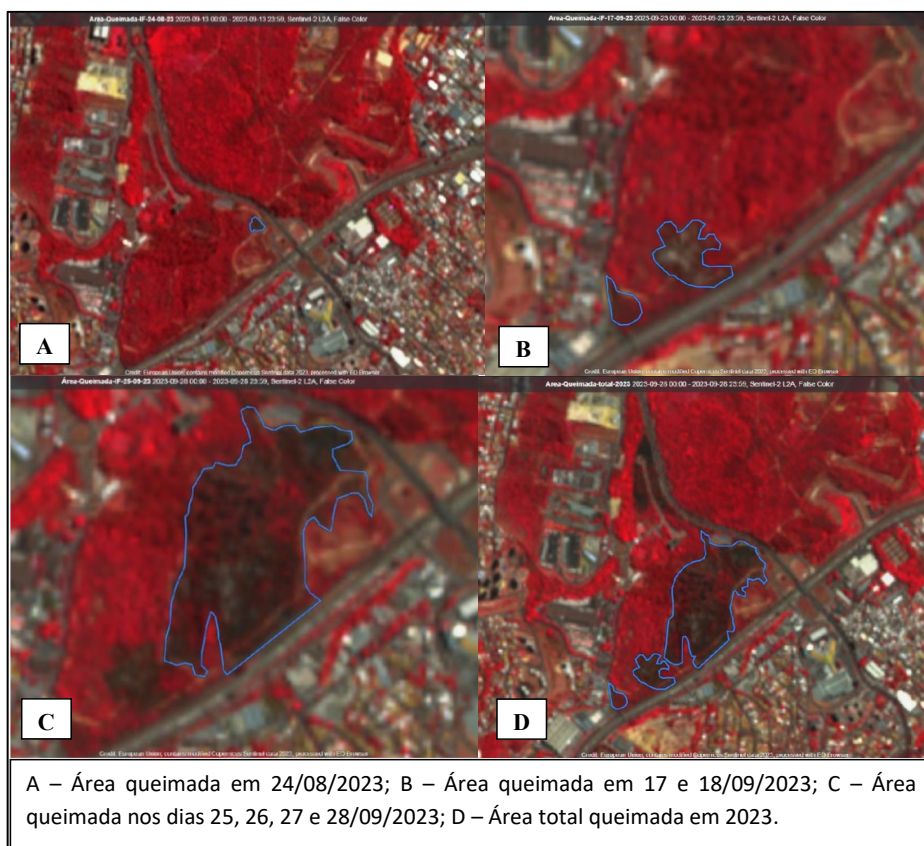


Fontes: Google Earth Pro, 2022; Sentinel Hub, 2022.

A **Figura 45** é formada por um conjunto de imagens extraídas da plataforma Sentinel Hub que mostram as áreas da EEco-UFMG atingidas por incêndios florestais no ano de 2023. A primeira ocorrência se deu em 24/08/2023 e foi atingida uma pequena área, de 0,5 ha. No dia 17/09/2023 teve início a segunda ocorrência que se estendeu até o dia 18/09/2023, somando uma área queimada de 2 hectares. A terceira ocorrência, a maior delas, teve início em 25/09/2023 e somente foi extinta em 28/09/2023, totalizando 14,5 hectares de área queimada.

Área total queimada por incêndios florestais em 2023 totalizou 17 hectares, que equivale a 48,57% da área da EEco-UFMG localizada no Quarteirão 15.

Figura 45 - Áreas queimadas por incêndios florestais em 2023

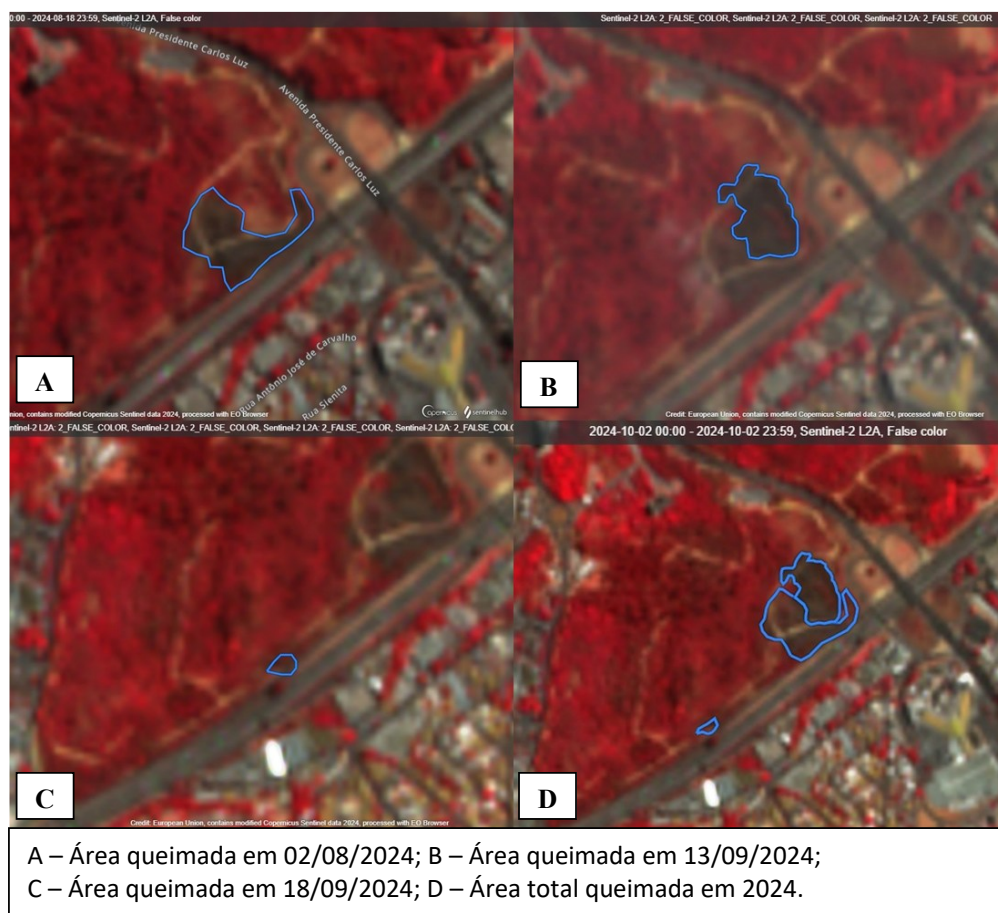


Fonte: Sentinel Hub, 2023; organizado pelo autor, 2024.

Em 2024 ocorreram 3 episódios de incêndios florestais na EEco-UFMG, todos localizados no Quarteirão 15. A primeira ocorrência se deu no dia 02/08/2024 e foi necessário o combate às chamas por funcionários da UFMG, Bombeiros Militares e brigadistas voluntários para extinção do fogo. A área queimada nesta ocorrência foi de 1,84 ha, localizados próximo ao encontro da Avenida Presidente Carlos Luz e o Anel Rodoviário.

O segundo incêndio teve início na madrugada do dia 13/09/2024 e atingiu uma área de 1,38 ha, na adjacência da área queimada na ocorrência anterior, conforme pode ser verificado na **Figura 46**. A terceira ocorrência se deu em 18/09/2024, podendo ser caracterizada como um princípio de incêndio, onde foi atingida uma pequena área de 0,1 ha, localizada às margens do Anel Rodoviário, no centro da região sul do Quarteirão 15 (ver **Figura 46**). A área total queimada por incêndios florestais em 2024 foi de 3,32 ha.

Figura 46 - Áreas queimadas por incêndios florestais em 2024



Fonte: Sentinel Hub, 2024; organizado pelo autor, 2024.

A **Tabela 19** sintetiza dados de ocorrências de incêndios florestais do período de 2001 a 2024. É importante esclarecer que a data do registro/imagem não corresponde à data da ocorrência do fogo, consiste na data em que o registro da imagem foi feito pelo satélite em questão.

Tabela 19 - Síntese de dados de incêndios florestais na EEco-UFMG

N. º	Data da Ocorrência	Data do registro/imagem	Área atingida (Hectares)	Setor/Local	Fonte dos Dados
1	Set/2001	2002	16,6	Quarteirão 14	Neves (2002)
2	Sem informação	14/06/2009	0,43	Quarteirão 14	Google Earth Pro
3	24/08/2014	06/09/2014	0,6	Quarteirão 14	Acervo EEco-UFMG Google Earth Pro
4	Sem informação	19/04/2014	0,93	Quarteirão 15	Google Earth Pro
5	Sem informação	30/09/2015	8,37	Quarteirão 15	Google Earth Pro
6	Sem informação	22/09/2016	1,93	Quarteirão 15	Google Earth Pro
7	Sem informação	11/10/2017	4,13	Quarteirão 15	Google Earth Pro
8	Sem informação	28/07/2018	2,53	Quarteirão 15	Google Earth Pro
9	17/10/2019	04/11/2019	29,6	Quarteirão 15	Google Earth Pro
10	01/10/2020	03/10/2020	1,0	Quarteirão 15	Sentinel HUB
11	22/07/2021	10/08/2021	1,3	Quarteirão 15	Google Earth Pro
12	24/03/2022	21/04/2022	0,67	Quarteirão 15	Google Earth Pro
13	25/08/2022	12/09/2022	3,37	Quarteirão 15	Google Earth Pro
14	19/09/2022	13/10/2022	< 1 hectare	Quarteirão 15	Sentinel HUB
15	24/08/2023	24/08/2023	0,5	Quarteirão 15	Sentinel HUB
16	17 e 18/09/2023	23/09/2023	2,0	Quarteirão 15	Sentinel HUB
17	25 a 28/09/2023	28/09/2023	14,5	Quarteirão 15	Sentinel HUB
18	02/08/2024	18/08/2024	1,84	Quarteirão 15	Sentinel HUB
19	13/09/2024	17/09/2024	1,38	Quarteirão 15	Sentinel HUB
20	18/09/2024	27/09/2024	0,1	Quarteirão 15	Sentinel HUB

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Pela análise da **Tabela 19**, em conjunto com as imagens de satélite das áreas queimadas e demais informações levantadas por meio de revisão de literatura e pesquisa documental, apresentadas na caracterização da área, é possível constatar que o fogo sem controle tem atingido a EEco-UFMG de forma recorrente nos últimos anos.

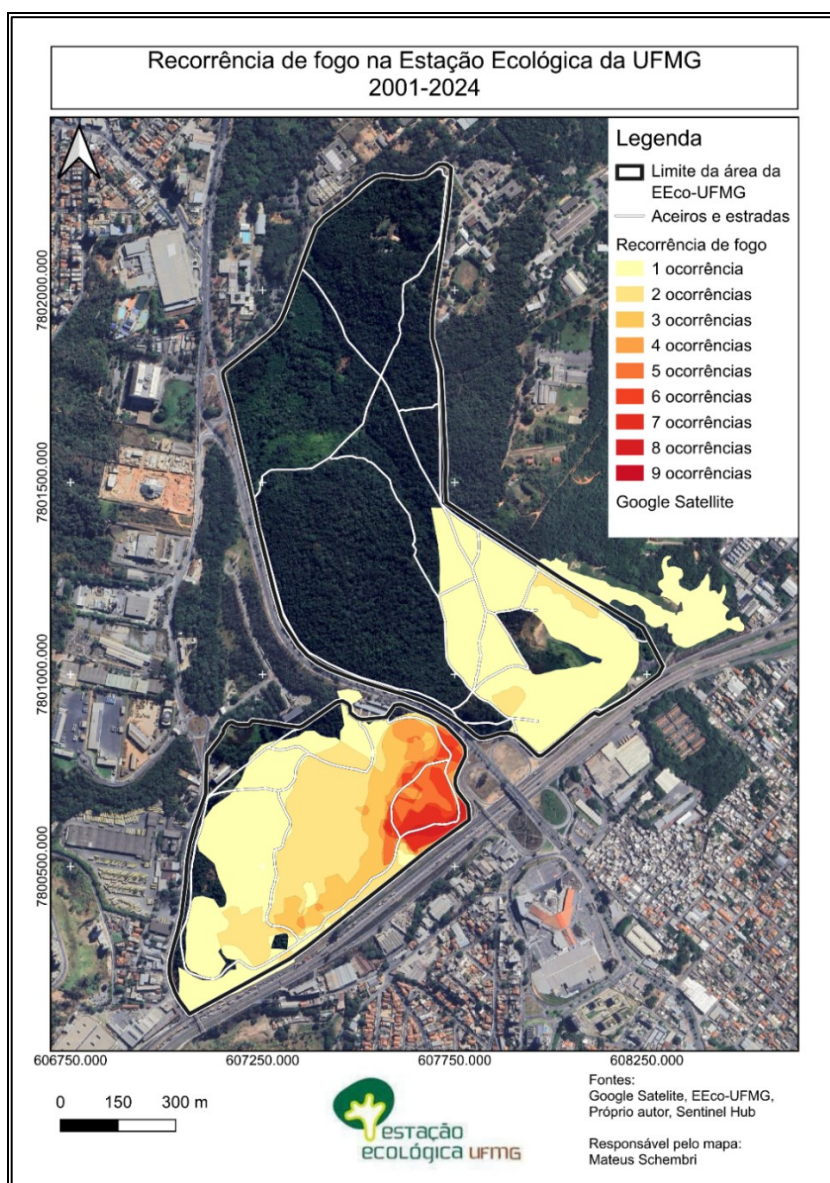
Nos últimos 10 anos foi registrada pelo menos 01 (uma) ocorrência de incêndio por ano na área, especialmente no quarteirão 15. Das 20 (vinte) ocorrências listadas na **Tabela 19**, 16 (dezesesseis) ocorreram em meses críticos para incêndios florestais (julho a outubro), representando 80% do total. Nesses períodos, devido às condições climáticas (altas temperaturas, pouca precipitação e baixa umidade relativa) e à presença de pouca umidade na vegetação e no solo, os incêndios tendem a ser mais agressivos e danosos.

Parece haver uma tendência de aumento no número de ocorrências e do tamanho das áreas queimadas. Nos últimos três anos (2022 a 2024) foi registrado um número maior de ocorrências do que nos anos anteriores. Nos anos de 2015, 2019 e 2023 a extensão da área queimada em cada ano foi superior a 23% da área total da EEco-UFMG localizada no

Quarteirão 15, que é de 35 hectares, com destaque para 2019 em que foi atingida uma área de 29,6 hectares (84,57%).

Sobrepondo os limites das áreas queimadas nas ocorrências identificadas foi possível gerar um mapa de recorrência ou frequência de incêndios florestais, conforme apresentado na **Figura 47**.

Figura 47 - Mapa de recorrência de fogo na EEco-UFMG (2001 a 2024)



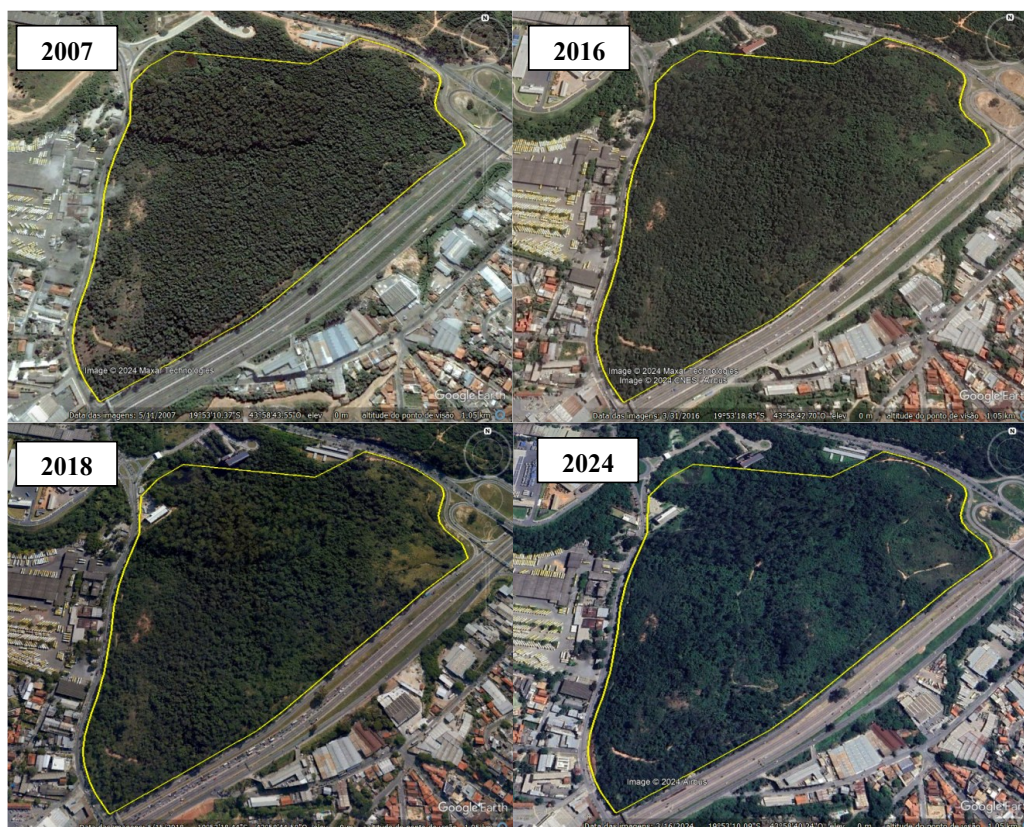
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Pela análise do mapa da **Figura 47**, constata-se que a região localizada próximo à interseção da Avenida Presidente Carlos Luz e o Anel Rodoviário tem sido atingida com grande frequência, ano após ano. À medida que se avança para o interior do Quarteirão 15, na direção

leste/oeste a recorrência dos episódios de fogo diminui, pois são locais mais distantes das rodovias, com menor acesso de pessoas. De toda forma, a área central do Quarteirão 15 foi atingida por incêndio florestal, pelo menos duas vezes nos últimos 6 (seis) anos. No período analisado, a região noroeste do Quarteirão 15 foi atingida somente 01 (uma) vez, no ano de 2019. O Quarteirão 14 apresentou baixa recorrência de incêndios, com somente 03 ocorrências no período de 2001 a 2024 (24 anos). A última ocorrência de fogo sem controle no local foi registrada em 2014.

Pela análise da evolução da cobertura vegetal do quarteirão 15 (de 2007 a 2024), por meio de imagens históricas provenientes do Google Earth Pro, é possível constatar que os incêndios florestais têm causado um grande impacto na flora da EEco-UFMG, resultando na redução da vegetação arbórea, como pode ser observado na **Figura 48**.

Figura 48 - Evolução histórica da cobertura vegetal do quarteirão 15



Fonte: Google Earth Pro (2007, 2016, 2018 e 2024).

As 4 (quatro) imagens que compõem a **Figura 48** foram registradas no final do período chuvoso ou pouco tempo após à passagem dele. A primeira foi registrada em 11/05/2007, a

segunda em 31/03/2016, o registro da terceira aconteceu em 15/05/2018 e a quarta, e mais atual, foi registrada em 16/03/2024.

Conforme pode ser observado na **Figura 48**, a região leste/nordeste da área apresentava estrato arbóreo mais denso em 2007, sendo possível notar uma pequena redução em 2016, o aumento deste processo no ano de 2018 e atualmente restarem poucas árvores de grande porte no local. A região central da área também sofreu redução do estrato arbóreo a partir de 2018, apresentando atualmente apenas fragmentos de vegetação arbórea, intercalados com vegetação predominantemente arbustiva. É importante frisar que em 2019 e 2023 ocorreram grandes incêndios no local, que atingiram a parte central do quarteirão 15. A região oeste/sudoeste, no entanto, apresentou expansão do estrato arbóreo entre 2007 e 2024. Nesta região não foram registradas ocorrências frequentes de incêndios florestais.

Os trabalhos realizados em campo para redefinição dos ecossistemas da EEco-UFMG e os registros fotográficos de árvores de grande porte queimadas comprovam os danos causados à biodiversidade do Quarteirão 15 pelos incêndios florestais. A **Figura 49**, a seguir, mostra imagens de locais e de árvores atingidas por incêndios florestais em 2021.

Figura 49 - Espécies arbóreas atingidas por incêndio florestal



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Entre as prováveis causas dos incêndios florestais na EEco-UFMG foi possível, por meio de trabalhos e registros fotográficos realizados em campo, apontar algumas possibilidades, como será apresentado a seguir.

Foi identificado que o Quarteirão 15 não possui um cercamento adequado, dispondo apenas de cercas de arame, que se encontram arrebitadas em diversos pontos, conforme pode ser visto na **Figura 50**, fato que permite a entrada de pessoas não autorizadas na área.

Figura 50 - Cercas de arame arrebitadas



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Foi constatado também o uso de fogo com diferentes finalidades nas bordas e no interior da área por pessoas em situação da rua, entre outras, o que pode estar relacionado ao início de incêndios florestais, conforme demonstram as **Figura 51 a 53**.

A **Figura 51** mostra, na foto A, resquícios de um fogão improvisado que, provavelmente, foi utilizado para cozinhar alimentos. A foto B mostra pessoa em situação de rua que passou a noite no local e acendeu uma fogueira para se esquentar do frio.

Figura 51 - Uso do fogo para cozinhar e para aquecer



Fonte: Elaborado pelo autor (2021 e 2024)

A **Figura 52** mostra, na foto A, o uso do fogo para queimar o plástico que reveste um fio contendo metal em seu interior (provavelmente cobre). A foto B mostra uma espécie de barraca improvisada com muitos isqueiros que, provavelmente, é utilizada como local de consumo de drogas.

Figura 52 - Uso do fogo para queimar fios e para consumo de drogas



Fontes: Elaborado pelo autor, 2023; Acervo EEco-UFGM, 2024.

A **Figura 53** mostra, na foto A, um plantio de banana e outras culturas em local atingido por fogo, visto a presença de uma árvore queimada. A foto B mostra um recipiente de barro, uma garrafa de bebida alcoólica e velas, objetivos típicos de alguns rituais religiosos. É possível verificar que a árvore localizada ao fundo da foto B já foi atingida por fogo no passado.

Figura 53 - Uso do fogo para plantios e rituais religiosos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021 e 2022).

5.4 Mapa de Risco de Incêndios da EEco-UFMG

O risco de incêndios florestais de uma determinada área está relacionado a diversos fatores do ambiente e à influência dos usos do solo e das ações antrópicas. A forma como esses fatores se correlacionam pode atenuar ou agravar o risco.

De acordo com Oliveira (2002), o risco de incêndio está relacionado a diferentes variáveis que influenciam na disponibilidade de fonte de ignição (fontes de calor), e às condições para que o fogo se propague. As principais variáveis desse processo são a vegetação e o material combustível presente na mesma, a topografia, tipos de uso e ocupação do solo e as condições meteorológicas. Ao se mensurar essas variáveis por setores, é possível elaborar mapas que indicam o risco de incêndio, que são ferramentas de extrema importância para uma gestão efetiva do fogo em uma determinada área. O zoneamento de risco de incêndios é, portanto, uma ferramenta essencial para a proteção de áreas verdes, pois permite que os gestores possam visualizar a distribuição espacial do risco e assim, direcionar recursos e atenção para os locais de maior risco.

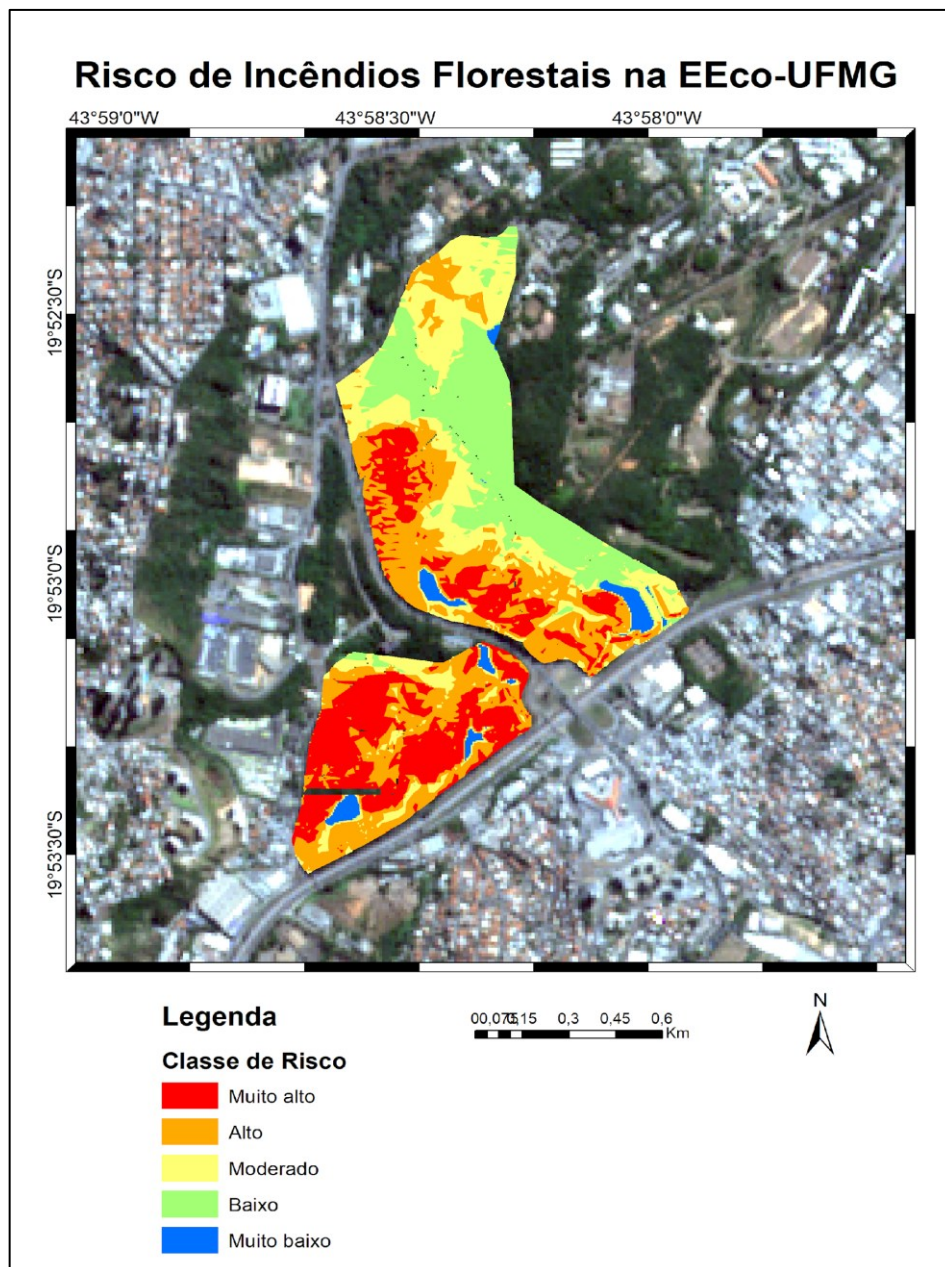
O tipo, forma e o arranjo da vegetação influenciam diretamente no comportamento dos incêndios florestais. Combustíveis leves (de menor espessura/diâmetro), em grande quantidade, com baixo teor de umidade tendem a queimar com rapidez atingindo altas temperaturas.

A topografia pode acelerar ou retardar o processo da combustão. Em locais muito acidentados, os focos iniciados em pontos de menor altitude ganham intensidade desidratando mais rápido o combustível da parte mais alta em função da convecção do calor.

Tendo em vista que a grande maioria dos incêndios florestais decorre de ações humanas, por ato criminoso ou negligência, a proximidade de vias urbanas e rodovias agravam o risco de incêndio florestal.

Pelo mapeamento de risco de incêndios florestais da Estação Ecológica da UFMG, conforme **Figura 54** a seguir, foi possível identificar os locais de maior risco, o que permite planejar melhor e direcionar esforços de prevenção para essas localidades, tais como: monitoramento, confecção de aceiros, ações de educação ambiental com as comunidades próximas e estabelecimento de estratégias para rápida resposta caso ocorram incêndios florestais.

Figura 54 - Mapa de Risco de Incêndio Florestal da EEco-UFMG



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Os locais classificados como risco alto e risco muito alto estão localizados principalmente próximos às áreas de borda (limites) da EEco-UFMG e também no interior do Quarteirão 15. No Quarteirão 14, desde 2014 não há registro de ocorrências de incêndios florestais e isso pode estar relacionado ao tipo de cercamento que a área possui, com telas tipo alambrado. A existência de aceiros na borda do Quarteirão 14, bem como a instalação da Bacia de Contenção de águas pluviais, onde há presença de funcionários, também podem estar relacionados ao não registro de ocorrências nos últimos anos. Todavia, o risco continua

existindo, conforme apontado no mapeamento, sendo importante manter o monitoramento nas bordas da área.

O interior do Quarteirão 15 apresentou pontos de risco muito alto de incêndios florestais, provavelmente em função da presença de um eucaliptal, vegetação altamente inflamável, que tem origem em ações antrópicas. A área do Quarteirão 15 pertencente à EEco-UFMG tem sido repetidamente atingida por incêndios florestais. Esse fato pode estar relacionado a diversos fatores de risco, tais como: a falta de um cercamento adequado, a proximidade do Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo, falta de monitoramento, as características da vegetação e a topografia do local.

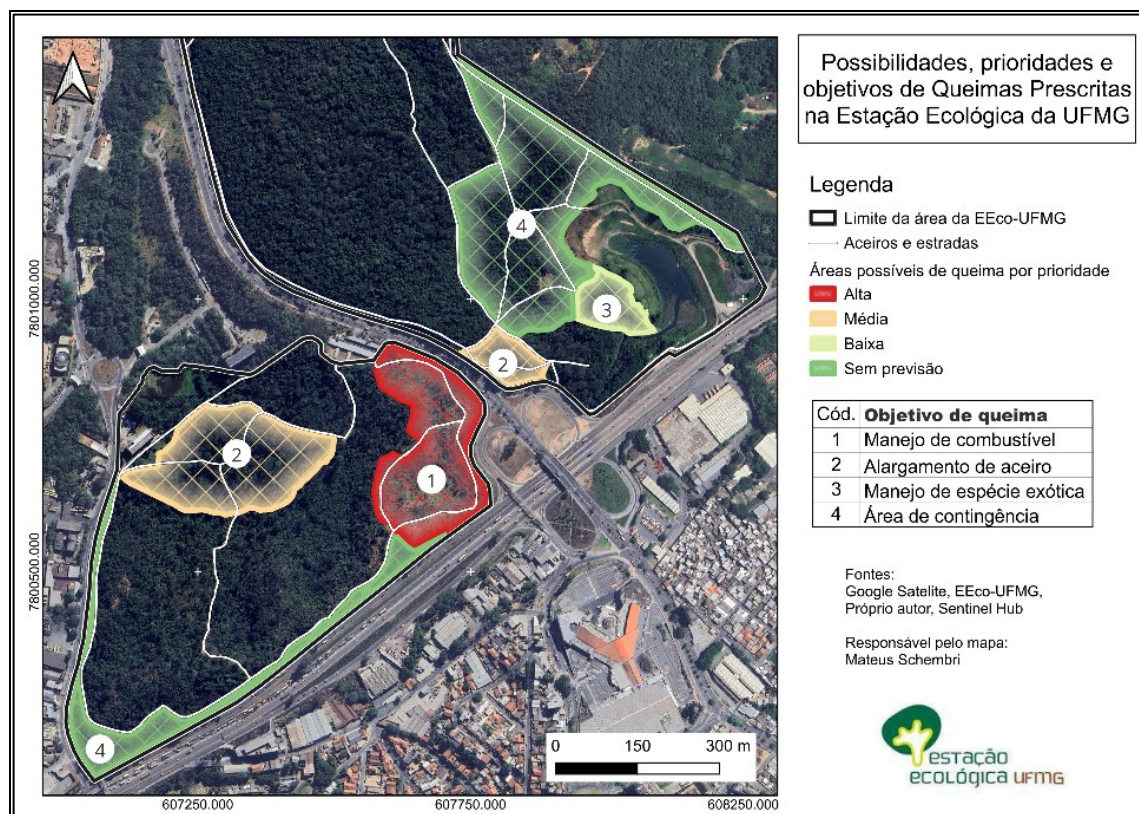
Nas áreas de borda do quarteirão 15 classificadas com risco alto ou muito alto, principalmente próximo ao encontro da Avenida Presidente Carlos Luz com o Anel Rodoviário, é onde se inicia grande parte das ocorrências de incêndio da EEco-UFMG. O manejo de combustível nesses locais, por meio de queimas prescritas, pode reduzir as chances de propagação do fogo sem controle para o interior da área, protegendo assim os fragmentos de Mata Semidecídua remanescentes.

Portanto, o presente trabalho se demonstra de extrema relevância, ficando evidenciada a eficiência do Sistema de Informação Geográfica (SIG) e dos procedimentos utilizados como ferramenta fundamental para produzir e disponibilizar informações essenciais para a elaboração de um plano integrado de prevenção e de combate a incêndios florestais.

5.5 Áreas possíveis de aplicação de Queimas Prescritas

Com base na análise conjunta das informações e dos resultados produzidos por meio dos procedimentos metodológicos empregados nesta pesquisa, foi possível identificar as áreas possíveis de aplicação de queimas prescritas no âmbito do Manejo Integrado do Fogo, com o objetivo de prevenir a ocorrência de grandes incêndios florestais. As referidas áreas foram representadas no mapa da **Figura 55**.

A área demarcada com a cor vermelha corresponde ao local onde está presente o ecossistema “Vegetação alterada com espécies exóticas” que possui grande presença de gramíneas de origem africana, como o capim colonião, a braquiária e o capim elefante. Pelo estudo do regime de fogo da EEco-UFMG constatou-se que este local apresenta alta frequência de incêndios florestais, sendo o local de início da maior parte das ocorrências. Portanto, é uma região bastante alterada pelo fogo sem controle de origem antrópica, restando poucos indivíduos de espécies arbóreas no local.

Figura 55 - Mapa das áreas possíveis de aplicação de Queimas Prescritas

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

De acordo com os resultados gerados pelo estudo dos aspectos microclimáticos, por possuir pouca arborização que impeça a entrada de raios solares e o movimento horizontal dos ventos (advecção) e por não contar com a presença de recursos hídricos, a vegetação deste local se desidrata muito rápido no período de estiagem se tornando um combustível altamente inflamável. Este fato reforça a importância de se reduzir esse combustível (**Objetivo 1**), utilizando o fogo controlado no período da janela de queima (abril, maio e junho) identificado a partir do Cálculo do Balanço Hídrico Climatológico.

Conforme pode ser verificado no Mapa de Risco de Incêndios Florestais da EEco-UFMG (**Figura 54**), esta área possui locais com risco alto ou muito alto. Isto ocorre em função do tipo de vegetação inflamável, da topografia acidentada com menor elevação nas duas bordas, pela localização próxima ao encontro de duas rodovias com grande fluxo de pessoas.

Diante do exposto, esta área apresenta **prioridade alta** para aplicação de queimas prescritas com o **Objetivo 1 (manejo de combustível)**, para evitar a propagação e o avanço dos incêndios florestais para o interior do Quarteirão 15 e, dessa forma, proteger os remanescentes de mata semidecidual e os recursos hídricos do local.

O mapa da **Figura 55** mostra também duas áreas na cor laranja, uma no Quarteirão 14 e a outra no Quarteirão 15, que são locais com a presença de Eucaliptais com sub-bosque de gramíneas exóticas. Nestas áreas também é possível a aplicação de queimas prescritas pois são ecossistemas com presença de espécies exóticas, resultado dos usos antrópicos pretéritos. A aplicação de queimas prescritas nesses locais tem **prioridade média**, pois são áreas atingidas por incêndios florestais com uma frequência baixa (de 1 a 2 vezes nos últimos 16 anos). Todavia, o fogo controlado pode ser utilizado nesses locais com o **Objetivo 2 (alargamento de aceiros)**, podendo ser utilizado também para o próprio manejo das espécies exóticas.

No Quarteirão 14 consta uma área identificada em verde claro, que consiste em um bosque de Leucenas no qual também é possível a aplicação do fogo controlado, neste caso, com o objetivo principal de auxiliar no manejo desta espécie exótica invasora (**Objetivo 3**) que possui grande poder de dispersão de sementes. Não há registros ou relatos de ocorrências de incêndios neste local nos últimos anos, portanto, a aplicação do fogo tem **prioridade baixa**.

Por fim, a **Figura 55** mostra duas áreas em verde escuro, uma localizada no Quarteirão 14, que se refere a uma fitofisionomia de Cerrado, e outra localizada no Quarteirão 15 que é a borda desta subárea localizada às margens do Anel do Rodoviário à Sul e que acompanha a Rua Professor José Vieira de Mendonça à Oeste.

Como foi apresentado ao longo desta pesquisa, a EEco-UFMG está localizada em uma região de transição (ecótono) entre os biomas Mata Atlântica e Cerrado. Na área sinalizada em verde escuro localizada no Quarteirão 14, há grande presença de indivíduos arbóreos com predominância de espécies do Cerrado, mas há também espécies de Mata Estacional Semidecidual. Na área sinalizada em verde localizada no Quarteirão 15 há grande presença de indivíduos arbóreos, com predominância de espécies de Mata Atlântica.

Portanto, deve haver muita cautela com relação ao uso do fogo nestes locais, não havendo necessidade inicial de aplicação de queimas prescritas neles, mas com possibilidade de utilização desta técnica de manejo para proteção de alvos de conservação localizados na parte interna na EEco-UFMG, principalmente no Quarteirão 15.

Estas duas áreas demarcas de verde deverão ser consideradas como uma contingência (**Objetivo 4**), ou seja, locais onde o fogo controlado deverá ser aplicado somente se o cenário exigir, caso os incêndios florestais se tornem mais frequentes e intensos no interior da EEco-UFMG, atingindo os fragmentos de mata e os recursos hídricos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi demonstrado, o MIF é uma abordagem holística para tratar dos problemas relacionados ao mau uso do fogo e dos benefícios que o seu uso adequado pode gerar. Para isso, é necessário analisar o contexto sociobioeconômico no qual o objeto de estudo está inserido para compreender o papel ecológico do fogo e as principais causas, os motivos e como as pessoas utilizam o fogo, bem como buscar soluções sustentáveis por meio de abordagens integradas, com o envolvimento das comunidades (Myers, 2006).

Diante do exposto, o estudo de caso da EEco-UFMG permitiu identificar que há diversas variáveis e inter-relações que influenciam o uso do fogo, resultando em um regime atual inadequado e danoso à área protegida e para a comunidade do seu entorno. Historicamente, a área onde a EEco-UFMG está situada passou por diferentes usos, foi fazenda até o início da década de 1940, o que pode explicar a presença de espécies exóticas como o Eucalipto e as gramíneas de origem africana que produzem grande quantidade de biomassa e são altamente inflamáveis.

De 1944 a 1974 abrigou um lar que cuidava de meninos em situação de vulnerabilidade, período em que ocorriam plantios e outros usos da terra. Na década de 1980 o local ficou abandonado e passou a ser usado como depósito de lixo e entulhos, com frequentes cortes de árvores para lenha, invasões e queimadas (Pont, 2008). Em 1992, após conflitos e embates internos à universidade, a EEco-UFMG foi de fato instituída mediante processo de tombamento, se consolidando nos anos seguintes como uma área de proteção ambiental urbana.

A análise da cobertura vegetal da EEco-UFMG e a redefinição dos limites entre os ecossistemas e destes com as áreas limítrofes à EEco-UFMG permitiu verificar que a área protegida apresenta diferentes fitofisionomias de mata atlântica e de cerrado, pois está localizada em uma zona de transição entre esses dois biomas. Conforme apresentado na revisão de literatura, o Cerrado pode ser classificado como um bioma dependente do fogo (ou adaptado ao fogo) uma vez que evoluiu com a presença do fogo em um regime ecologicamente benéfico, sendo possível o manejo de combustível com o uso de fogo controlado (queimas prescritas) nessas áreas.

Foram identificadas na EEco-UFMG áreas alteradas pela ação humana, principalmente pelos incêndios florestais de origem antrópica. Algumas destas áreas apresentam grande quantidade de gramíneas de origem africana, como o Colonião e o Capim Elefante. Há também áreas com predominância de espécies arbóreas exóticas com sub-bosque de gramíneas, como o Eucalipto (provavelmente introduzido no período em que a região era fazenda) e a Leucena,

presente em muitas áreas verdes urbanas. Nestes locais também é possível a aplicação de queimas prescritas para redução do combustível e, com isso, reduzir a intensidade e facilitar o controle de incêndios florestais, caso ocorram, com o objetivo de proteger alvos de conservação, como os fragmentos remanescentes de mata estacional semidecidual e as nascentes de água.

O estudo dos aspectos climáticos foi de extrema relevância tendo em vista a grande influência que o clima exerce no comportamento do fogo e dos incêndios florestais. O uso do cálculo do Balanço Hídrico Climatológico como ferramenta para definição de períodos viáveis para realização de queimas prescritas na EEco-UFMG se mostrou eficiente, pois produziu informações essenciais para a realização de um planejamento, sendo possível identificar os meses com as melhores condições de armazenamento de água no solo, o que reflete na quantidade de umidade da vegetação. Foi demonstrado que o período mais propício para realização das queimas prescritas na EEco-UFMG ocorre de abril a junho.

Apesar de ser possível realizar um planejamento, as condições para realização das queimas deverão ser validadas em campo no(s) dia(s) definido(s) para a atividade, pois o estado meteorológico deverá estar favorável para a realização da atividade. Ou seja, a temperatura não deverá apresentar valores elevados, a umidade relativa do ar não deverá registrar valores baixos. A condição dos ventos também deverá ser favorável, com direção e velocidade compatíveis com o objetivo da queima.

Por meio do cálculo do Balanço Hídrico foi possível identificar também os meses mais críticos (quentes e secos) para a ocorrência de incêndios florestais, o que também fornece importantes informações para os gestores, evidenciando o período que requer maior atenção e monitoramento da área. Foi possível concluir que o período crítico para ocorrência de incêndios se estende de julho a setembro, meses em que é necessário maior monitoramento da área e outras ações de prevenção.

Pelo estudo das unidades microclimáticas da EEco-UFMG, verificou-se que as condições climáticas, em microescala, sofrem influência da vegetação, da topografia e da presença de recursos hídricos. Ambientes com vegetação arbórea mais densa permite menor entrada de radiação solar, resultando em menor oscilação da temperatura e menor perda de umidade. Áreas de cerrado, que permitem a entrada de ondas curtas e cujas superfícies da vegetação possuem alto índice de reflectividade, podem apresentar altos gradientes de temperatura e de umidade relativa. Locais com presença de cursos d'água apresentam maior umidade relativa. Em áreas antropizadas com solo pavimentado ou solos expostos ocorrem expressivas variações de temperatura e UR ao decorrer o dia. Essas informações permitem identificar os locais com condições mais propícias às ocorrências de incêndios, bem como o

período do dia com maiores probabilidades e auxiliam na identificação dos locais sensíveis a passagem do fogo.

O estudo dos aspectos climáticos permitiu constatar, também, que os dados utilizados, em especial os extraídos da Estação Meteorológica Automática Pampulha, sob gestão do INMET, possuem boa acurácia e consistência. Mesmo tendo apresentado algumas falhas de registro, foi possível a correção dos dados e a utilização dos mesmos para cálculo do Balanço Hídrico e para auxiliar no estudo microclimático. A presença de uma estação meteorológica na área da Estação Ecológica da UFMG é de extrema importância para o desenvolvimento de estudos e trabalhos relacionados à climatologia do local e da região.

Por meio da análise das ocorrências de incêndios florestais e de outros estudos do local, foram constatados diferentes usos do fogo, evidenciando um problema econômico-social de grande complexidade enfrentado no Brasil: pessoas em situação de rua que utilizam a área como abrigo e para outras finalidades, fazendo uso do fogo para cozinhar, para se aquecerem, para consumo de drogas etc, o que pode resultar em incêndios florestais. Há ainda, a possibilidade de fogo intencional para causar incêndios como forma de represália à retirada dessas pessoas e de seus objetos do local.

Como essa questão é complexa e de difícil resolução e, portanto, requer longo prazo de tempo para ser sanada, cabe à gestão da área, no curto prazo, focar em outras ações que podem contribuir para a redução das ocorrências e dos impactos negativos gerados pelo fogo sem controle. O cercamento adequado do Quarteirão 15 é necessário e urgente, pois permitirá a confecção de aceiros mais eficientes nas bordas/limites e dificultará e reduzirá os acessos indevidos ao local. É necessária, ainda, a realização de monitoramentos mais frequentes, principalmente nos pontos prioritários que apresentam risco alto e/ou muito alto de ocorrência de incêndios, conforme foi estabelecido pelo procedimento do mapeamento dos riscos.

É premente, também, que a área da EEco-UFMG localizada no Quarteirão 15 cumpra as funções e objetivos estabelecidos em seu regimento interno, sendo de fato utilizada para o desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão e conservação do seu patrimônio natural e histórico-cultural. O uso das áreas protegidas pela população, de forma alinhada com seus objetivos, é de extrema relevância para se criar um sentimento de pertencimento e de cuidados com o local.

Pela análise das ocorrências de incêndios foi possível, ainda, constatar que o regime em que o fogo está ocorrendo no local está inadequado. As queimadas descontroladas têm ocorrido, em geral, nos meses mais secos do ano, no auge do período crítico, se tornando muito agressivas e danosas, resultando na perda de biodiversidade do local. Como foi visto, em 2015, 2019 e

2023 os incêndios foram muito intensos e atingiram grandes extensões, queimando mais de 23% da área da EEco-UFMG localizada no Quarteirão 15. Foi constatado que algumas áreas têm sido atingidas com grande frequência, de forma recorrente, sem que haja tempo hábil para se recuperarem.

Portanto, é necessário alterar este regime inadequado de fogo, buscando alcançar (imitar) as características do fogo de origem natural das queimadas causadas por descargas elétricas, que ocorrem em períodos úmidos e não atingem grande intensidade. Neste sentido, o MIF tem se demonstrado uma abordagem eficiente para reduzir o mau uso do fogo e promover regimes ecologicamente adequados de fogo. A aplicação de queimas prescritas, no período da janela de oportunidade identificado por meio do cálculo do Balanço Hídrico Climatológico, permite a gestão eficiente de combustíveis e a redução do risco de incêndios, resultando na proteção dos ecossistemas sensíveis (alvos de conservação).

O mapeamento do risco de incêndios foi fundamental para espacializar o risco de ocorrência de fogo sem controle na EEco-UFMG pois correlacionou, por meio de sistema de informação geográfica, as diferentes variáveis que acentuam ou atenuam o risco de incêndios, tais como, o uso e ocupação da terra (cobertura vegetal), a altitude, a declividade, a orientação do relevo, a proximidade de estradas e a temperatura. Este mapeamento apontou que as áreas de borda da EEco-UFMG, que fazem limites com a Avenida Presidente Antônio Carlos e com o Anel Rodoviário Celso Melo Azevedo, apresentam risco alto ou muito alto em função do grande fluxo de pessoas e, portanto, são locais que requerem maior atenção e monitoramento. O mapa de riscos gerado ajudou, portanto, a definir locais prioritários para aplicação de queimas prescritas.

Diante do exposto, com base nas informações levantadas pela revisão de literatura e produzidas por meio dos procedimentos metodológicos aplicados, esta pesquisa alcançou seus objetivos, demonstrando os benefícios da abordagem do MIF e a viabilidade de aplicação de queimas prescritas na EEco-UFMG, como ferramenta de redução de incêndios florestais.

A metodologia empregada nesta pesquisa se mostrou eficiente e pode ser adotada em outras áreas protegidas para analisar a viabilidade e possíveis benefícios da aplicação de queimas prescritas para a gestão de combustível, reduzindo os danos causados pelos incêndios florestais e auxiliando na proteção de alvos de conservação.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. L. Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: de Nimer (1977) a Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Geonomos**, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, p. 17-22, Dez.1998.
- ASSIS, W. L. Os climas naturais do município de Belo Horizonte – MG. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, Ed. Esp. Climatologia Geográfica, 2012, p.115-135.
- BEDÊ, L. C.; WEBER, W.; RESENDE, S. R. O.; PIPER, W.; SCHULT, W. **Manual para mapeamento de biótopos no Brasil**: Base para um planejamento ambiental eficiente. Belo Horizonte: Fundação Alexander Brandt, 1997. 146p.
- BELO HORIZONTE. **Decreto nº 16.529, de 29 de dezembro de 2016**. Dispõe sobre a Política Municipal de Controle e Fiscalização das Fontes Poluidoras e dá outras providências referentes à Política Ambiental do Município. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/mg/b/belo-horizonte/decreto/2016/1653/16529/decreto-n-16529-2016-dispoe-sobre-a-politica-municipal-de-controle-e-fiscalizacao-das-fontes-poluidoras-e-da-outras-providencias-referentes-a-politica-ambiental-do-municipio>. Acesso em 26 maio 2024.
- BONTEMPO, Gínia César. **Ocorrência de incêndios florestais e educação ambiental nos parques abertos à visitação pública em Minas Gerais**. 2006. 162 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/3140>. Acesso em: 09 out. 2022.
- BRASIL. **Decreto nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934**. Aprova o Código Florestal. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/D23793impressao.htm. Acesso em: 25 maio 2024.
- BRASIL. **Decreto nº 84.017 de 21 de setembro de 1979**. Aprova o Regulamento dos Parques Nacionais Brasileiros. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/atos/decretos/1979/d84017.html. Acesso em: 25 maio 2024.
- BRASIL. **Decreto nº 97.635 de 10 de abril de 1989**. Regula o artigo 27 do Código Florestal e dispõe sobre a prevenção e combate a incêndio florestal, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D97635impressao.htm. Acesso em: 25 maio 2024.
- BRASIL. **Decreto nº 2.661, de 8 de julho de 1998**. Regulamenta o parágrafo único do art. 27 da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (código florestal), mediante o estabelecimento de normas de precaução relativas ao emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2661.htm#art28. Acesso em: 25 maio 2024.
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e

7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 25 maio 2024.

BRIGADISTAS debelam incêndio na Estação Ecológica. **Universidade Federal de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 01 out 2020. Disponível em: <https://ufmg.br/comunicacao/noticias/brigadistas-debelam-incendio-na-estacao-ecologica>. Acesso em: 09 out. 2022.

BRIGADISTAS passam a noite no combate ao incêndio na mata da UFMG. **O Tempo**. Belo Horizonte, 26 de set 2023. Disponível em: <https://www.otempo.com.br/cidades/brigadistas-passam-a-noite-no-combate-ao-incendio-na-mata-da-ufmg-1.3242273>. Acesso em: 03 dez. 2023.

BROWN, A. A.; DAVIS, K. P. **Forest Fire** – control and use. New York, Mc Graw Hill, 2nd ed., 1973. 686p.

BRUNO, S.F.; SOUZA, R. O.; RIBEIRO, P. V.; CARVALHO, C. M. S.; BARBOZA, D. V. **Fogo na Canastra**: reflexões sobre o fogo no Cerrado. 1. ed. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. 65 p.

COMAM. Conselho Municipal de Meio Ambiente. **Ata da reunião ordinária do dia 30/03/2022**. Belo Horizonte. Disponível em: https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/meio-ambiente/2022/ATA%20COMAM%20ORDIN%C3%81RIO_30-03-2022.pdf. Acesso em: 26 maio 2024.

COMAM. Conselho Municipal de Meio Ambiente. **Ata da reunião ordinária do dia 14/12/2022**. Belo Horizonte. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/meio-ambiente/ATA%2014.12.2022.pdf>. Acesso em: 26 maio 2024.

CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 11, de 14 de dezembro de 1988**. Publicada no DOU, de 11 de agosto de 1989, Seção 1, página 13661. Dispõe sobre as queimadas de manejo nas Unidades de Conservação.

COOPER, R. W. Current use and place of prescribed burning In: **Prescribed burning Symposium Proceedings**, Asheville, Southeastern Forest Exp, Station, 1971. 160p.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR (Minas Gerais). Boletim de Ocorrência nº 2022-037213926-001. **Sistema Integrado de Defesa Social**. Poder Executivo, Belo Horizonte, 25 ago. 2022.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR (Minas Gerais). Boletim de Ocorrência nº 2023-045012662-001. **Sistema Integrado de Defesa Social**. Poder Executivo, Belo Horizonte, 25 set. 2023.

DIAS, Genebaldo Freire. **Queimadas e incêndios florestais**: cenários e desafios: subsídios para a educação ambiental. 1. ed. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2009, 32p.

FALLEIRO, Rodrigo de Moraes; SANTANA, Marcelo Trindade; BERNI, Cendi Ribas. As contribuições do Manejo Integrado do Fogo para o controle dos incêndios florestais nas Terras Indígenas do Brasil. **Revista Biodiversidade Brasileira**, 6(2): 88-105, 2016.

FERREIRA, V. V. M.; SOBRINHO, L. C. G. Estudos Hidrogeológicos na Bacia do Engenho Nogueira. **Revista Águas Subterrâneas**. 2010. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22882>>. Acesso em: 30 nov. 2024.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2008. 200 p.

GONTIJO, Bernardo Machado; Neves, Celso D'Amato Baeta. Programa Estação Ecológica/UFGM - Extensão, Ensino e Pesquisa Integrados para a Conservação de uma área. **Congresso Brasileiro de Extensão Universitária**, Belo Horizonte, n.2, 13 a 15 set. 2004. GOOGLE EARTH PRO. **Google**. 2023. Disponível em: <<https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/about/versions/>>. Acesso em: 29 de junho de 2023.

INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS (IDE-SISEMA). 2023. Disponível em: <<https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>>. Acesso em: 26 jun. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2022: População e domicílios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. 70p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Manual para Formação de Brigadista de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais**. Brasília: IBAMA, 2010. 87 p.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONVERSÃO DA BIODIVERSIDADE. **Manual para Formação de Brigadista de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais**. Brasília: ICMBIO, 2010. Disponível em: https://queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/material3os/2010_ICMBIO_ApostilaBrigadistaPrevencaoIncendios_MMA_DE3os.pdf. Acesso em: 15 out. 2022.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONVERSÃO DA BIODIVERSIDADE. **Roteiro para Elaboração do Plano de Manejo Integrado do Fogo das Unidades de Conservação Federais**. Brasília: ICMBIO, 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Mapa das estações automáticas do INMET**. 2015. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>> Acesso em 3 dez. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas (1991-2020)**. 2022. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em: 27 nov. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Programa BD**

Queimadas. 2024. Disponível

em: <<https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>>. Acesso em: 02 Jun. 2024.

JARDIM, Carlos Henrique. Construção e avaliação de desempenho de modelo de mini abrigo meteorológico de ventilação passiva para experimentos em campo de climatologia. In. GALVANI, Emerson; GOBO, João Paulo Assis; LIMA, Nádia Gilma Beserra de. (Orgs) **Climatologia Aplicada**. Vol II. 1. ed. Curitiba: CRV, 2018, p. 223-234.

JARDIM, C. H. GALVANI, E. Unidades Topoclimáticas no Parque Nacional da Serra do Cipó. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, MS, v. 30, Jan. / Jun. 2022, ISSN 2237-8642.

JARDIM, C. H. MONTEIRO, H. C. Microclimatic units in the ufmg ecological station in Belo Horizonte, Brazil: methodological aspects and the role of vegetation in thermal impacts. **Geografias Artigos Científicos**, Belo Horizonte, n. 01, vol. 10, jan. – jun. 2014.

KAMINO, Luciana Hiromi Yoshino. **Estação Ecológica da Universidade Federal de Minas Gerais**: Flora vascular e estudo comparativo de sua estrutura arbórea com as de outros fragmentos florestais da Apa-Sul MG. 2002. 83f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

LIMA, Geisiane Aparecida de; ASSIS, Natália Gonçalves; IBRAHIM, Elizabeth Rodrigues Brito. Diagnóstico dos córregos de influência direta da lagoa da Pampulha com base nos requisitos do Código Florestal Brasileiro por meio da utilização das ferramentas do SIG. **VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. Campina Grande, PB. 21 a 24 nov. 2016.

LORENZON, A.S.; BRIANEZI, D.; VALDETARO, E.B.; MARTINS, M.C. **Incêndio Florestal**: princípios, manejo e impactos. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2018. 342 p.

MEDEIROS, Marcelo Brilhante de; FIEDLER, Nilton Cezar. Incêndios Florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.14, n.2, p. 157-168, 2004. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/1815>. Acesso em: 09 out. 2022.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 47.919, de 17 de abril de 2020**. Regulamenta o uso de fogo para fins de prevenção e de combate a incêndios florestais no interior e no entorno de Unidades de Conservação instituídas pelo Poder Público estadual. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/atividade-parlamentar/leis/legislacao-mineira/lei/texto/print.html?tipo=DEC&num=47919&ano=2020&comp=&cons=>. Acesso em: 20 abr. 2024.

MOBLEY, H. E.; JACKSON, R. S.; BALMU, W. E.; RUZISKA, W. E.; HOUGH, W. A. **A guide for prescribed fire in Southern forests**. Atlanta: USDA. Forest Service, 1973. 40p.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**: um projeto e seus caminhos. In: MENDONÇA, F; MONTEIRO, C. A. F. (Orgs) *Clima urbano*. São Paulo: Contexto, 2003.

MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MIRANDA, A. C. **The Fire Factor**. In: P. S. Oliveira & R. J. Marquis (eds.). **The Cerrados of Brazil—Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. Columbia University Press, Nova York, 2002.

MIRANDA, Heloísa Sinátora (org.). **Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado**: Projeto Fogo. Brasília: IBAMA, 2010, 144p.

MYERS, Ronald L. **Convivendo com o Fogo**: manutenção dos ecossistemas & subsistência com o manejo integrado do fogo. Tallahassee: The Nature Conservancy, 2006. 28p.

NASCIMENTO, D. D. VITOR, V.V. SILVEIRA, F.C.B. JARDIM, C.H. Microclimas na Estação Ecológica da Universidade Federal De Minas Gerais. **Encontro Nacional de Geógrafos**, Belo Horizonte, n. 17, jul. 2012. Disponível em: <https://www.ufmg.br/estacaoecologica/portfolio-item/microclimas-na-estacao-ecologica-da-universidade-federal-de-minas-gerais/>. Acesso em: 09 de out. 2022.

NEVES, C. D. B. **Relatório das atividades desenvolvidas pela gerência administrativa da Estação Ecológica da UFMG no ano de 1997**. Belo Horizonte, 1998.

Neves, Celso D'Amato Baeta. **Zoneamento ambiental da Estação Ecológica da UFMG**: subsídios à implementação de Unidades de Conservação urbanas. 2002. 128f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

NIMER, Edmon. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 422p.

ODUM, Eugene, P. **Fundamentos de Ecologia**. 6 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2001. 927 p.

OLIVEIRA, C.V. de; Neves, C. B. Zoneamento Ambiental da Estação Ecológica da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. **Anais do VII Simpósio Nacional de Geomorfologia**, UFMG, Belo Horizonte, MG, 2009.

OLIVEIRA, Danielle dos Santos. **Zoneamento de risco de incêndios em povoaamentos florestais no norte de Santa Catarina**. 2002. 113f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

OMM, Organização Meteorológica Mundial. **“WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals”**, WMO-TD No. 1203, Genebra, Suíça, 2017.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Meteorologia Agrícola**. 1. ed. revista e ampliada. Piracicaba: USP, 2007.

PONT, Karina Rousseng Dal. **De "bota-fora" à Estação Ecológica da UFMG**: pequenas conquistas e a construção de significados ambientais urbanos. 2008. 119f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

RAMALHO, A. H. C. et al. **Zoneamento de Risco de Ocorrência de Incêndios Florestais – Passo a Passo**. 1ª ed. Jerônimo Monteiro, ES: Os editores 2021, 74p.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T., 2010. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 185 - 204, 2010.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.) **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2.ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002.

REIS, Matheus de Oliveira; JARDIM, Carlos Henrique. Variações da temperatura e umidade relativa do ar em diferentes biótopos na Estação Ecológica da UFMG. **Revista Pantaneira**, V. 24, Edição Especial CIGEPAM(UFC), UFMS, Aquidauana-MS, 2024.

RIBEIRO, G. A.; FERREIRA, D. G. S. **Formação e Treinamento de Brigada de Incêndio**. Viçosa: CPT, 2009, 270p.

SENTINEL HUB EO BROWSER. See. **Decide. Atc**. 2024. Disponível em: https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/?zoom=16&lat=-19.88454&lng=-43.97439&themeId=WILDFIRES-NORMAL-MODE&visualizationUrl=https%3A%2F%2Fservices.sentinel-hub.com%2Fogc%2Fwms%2Faae18701-6b25-4001-8b2a-b98a1b3806c1&datasetId=S2L2A&fromTime=2023-09-28T00%3A00%3A00.000Z&toTime=2023-09-28T23%3A59%3A59.999Z&layerId=1_FALSE-COLOR&demSource3D=%22MAPZEN%22. Acesso em 02. Jun. 2024.

SILVA, M. R.; JARDIM, C. H. Influência da Topografia e Uso da Terra na Variação dos Elementos Climáticos em Belo Horizonte, Ibirité, Sete Lagoas e Conceição do Mato Dentro - MG: O Segmento Temporal Entre 11 a 23/09/2016. **Revista do Departamento de Geografia**, p.48-57, 2017.

SOARES, R.V.; BATISTA, A.C.; TETTO, A.F. **Incêndios Florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. 2. ed. rev. Curitiba: Os autores, 2017. 255p.

SOARES, R.V.; BATISTA, A.C.; TETTO, A.F. **Manual de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais**. 2. ed. rev. Curitiba: Os autores, 2017. 70p.

SOARES, R.V.; BATISTA, A.C.; TETTO, A.F. **Meteorologia e Climatologia Florestal**. 1. ed. Curitiba: Os autores, 2015. 215p.

SOARES, R.V.; TETTO, A.F.; WENDLING, W. T. **Histórico de 50 anos dos incêndios florestais na fazenda Monte Alegre Klabin do Paraná (1965 – 2014)**. 1. ed. Curitiba: Os autores, 2020. 90p.

SOUZA, Marco Antônio de. **As estratégias da pedagogia do assistencialismo em Belo Horizonte, 1930- 1990: educação e caridade**. 2001. 427f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, 2001.

THORNTHWAITE, C.W. **An approach toward a rational classification of climate.** Geogr. Review 38:55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance.** Publications in Climatology, New Jersey, Drexel Inst. Of Technology, 1955, 104p.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.J.L. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras.** São Paulo: Nobel, 1980.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Incêndio destrói parte da mata da Estação Ecológica.** Belo Horizonte: UFMG, 2010. Disponível em: <https://www.ufmg.br/online/arquivos/016528.shtml>. Acesso em: 07 jun. 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Protocolo de Intenções que entre si celebram a Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, por meio da Pró-Reitoria de Extensão e a Associação Brigada 1 – B1.** Belo Horizonte: UFMG, 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Brigadistas debelam incêndio na Estação Ecológica.** Belo Horizonte: UFMG, 2020. Disponível em: <https://ufmg.br/comunicacao/noticias/brigadistas-debelam-incendio-na-estacao-ecologica>. Acesso: 12 jun. 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Câmara de Extensão do Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão. **Resolução nº 03/2021 de 16 de março de 2021.** Altera o Regimento Interno da Estação Ecológica da UFMG e revoga a Resolução nº 02/2015 de 11 de agosto de 2015. Belo Horizonte: UFMG, 2021. Disponível em: https://www.ufmg.br/estacaoecologica/wp-content/uploads/2021/03/RESOLUC%CC%A7A%CC%83O-03_2021-E-REGIMENTO-EECO.pdf. Acesso em: 15 out. 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Plano de Manejo da Estação Ecológica da UFMG.** Belo Horizonte: UFMG, 2022. Disponível em: https://www.ufmg.br/estacaoecologica/wp-content/uploads/2022/06/PLANO-DE-MANEJO-FINAL_11_maior.pdf. Acesso em: 15 out. 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Relatório de Gestão 2023.** Belo Horizonte: UFMG, 2023.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** Tradução de Daniel Grassi. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

APÊNDICE A - Cálculo Detalhado do Balanço Hídrico Climatológico da EEco-UFMG

Por meio do balanço hídrico climatológico é possível contabilizar a quantidade água no solo, pela aplicação do Princípio de Conservação de Massa num volume de solo com vegetação. A variação de armazenamento de água no volume considerado (ΔARM), por intervalo de tempo, representa o balanço entre o que entrou e o que saiu de água do volume de controle (Pereira; Angelocci; Sentelhas, 2007). Dessa forma, o balanço hídrico pode ser representado pela fórmula a seguir:

$$\pm \Delta ARM = P + I - ET + AC - DP.$$

Onde:

ENTRADAS

- P = Precipitação
- I = Irrigação
- AC = Ascensão Capilar.

SAÍDAS

- ET = Evapotranspiração
- DP = Drenagem profunda.

A metodologia para cálculo do Balanço Hídrico desenvolvida por Thornthwaite & Mather (1955), busca determinar a oscilação de armazenamento de água no solo sem considerar a irrigação ($I = 0$). Esta metodologia também assume que a ascensão capilar é zero ($AC = 0$). Dessa forma, é possível estimar a variação do armazenamento denominada de alteração do armazenamento (ALT), a evapotranspiração real (ETR), e a drenagem profunda, que passa a ser denominada de excedente hídrico (EXC), aplicando a seguinte equação:

$$\pm ALT = P - ETR - EXC.$$

Determinando-se a Evapotranspiração Potencial (ETP) e a ETR, é possível estimar também o déficit hídrico (DEF) pela subtração do ETP pelo ETR, definido como:

$$DEF = ETP - ETR.$$

Para cálculo do Balanço Hídrico, é necessário definir o índice de Capacidade de Água Disponível (CAD) a ser utilizada. O balanço hídrico, segundo metodologia de Thornthwaite & Mather (1955), é geralmente aplicado para caracterizar a disponibilidade hídrica de uma região em bases climatológicas e comparativas, o CAD é selecionado em função do tipo de cultura (vegetação), recomendando-se utilizar CAD de 100 mm, que é o valor médio para a maioria das plantas cultivadas.

Para calcular a Evapotranspiração Potencial (ETP) mensal, de acordo com o método desenvolvido por Thornthwaite (1948), utiliza-se a equação:

$$ETP = 16 (10 T_n / I)^a \quad 0 \leq T_n \leq 26,0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sendo T_n a temperatura média do mês n , em $^\circ\text{C}$; e I um índice que expressa o nível de calor disponível na região. O subscrito n representa o mês, ou seja, $n = 1$ é Janeiro, $n = 2$ é Fevereiro etc. O valor de I depende do ritmo anual da temperatura (preferencialmente com valores normais), integrando o efeito térmico de cada mês, e é calculado pela seguinte fórmula:

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0,2 T_n)^{1,514}$$

O expoente a , sendo função de I , também é um índice térmico regional, e é calculado pela função polinomial:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} I + 0,49239$$

Os dados brutos iniciais utilizados no cálculo do Balanço Hídrico Climatológico da EEco-UFMG foram adquiridos pelo portal eletrônico do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), tendo sido extraídos os dados históricos anuais da Estação Automática Belo Horizonte (Pampulha), código A521.

Foram obtidos os dados diários de precipitação total horária (mm), temperatura do ar horária, temperatura máxima horária e temperatura mínima horária, de um período de 16 (dezesseis) anos completos, de 2007 a 2022.

O tratamento dos dados se deu por meio do software de planilhas Excel, da empresa Microsoft. Inicialmente foram calculadas as temperaturas médias compensadas (TMC) diárias, a partir dos dados horários obtidos, utilizando a equação:

$$\frac{Temp. Max. + Temp. Min. + Temp. 12h + (2 \times Temp. 0h)}{5}$$

Os dados de precipitação também foram convertidos de dados horários para dados diários, para todo o período (2007 a 2022).

Após conversão dos dados horários em dados diários foi iniciado o processo de verificação da consistência dos dados, buscando-se a identificação de falhas. Nesse processo foi utilizada a fórmula CONT.SES para localizar lacunas e apontar ausência de dados em cada mês/ano.

A análise da consistência se fundamentou no Documento Técnico N° 1.203 de 2017 da Organização Meteorológica Mundial (OMM). De acordo com este documento, para variáveis associadas a valores diários de temperatura, seguindo a regra 3:5, é recomendado descartar os meses com ausência de dados em três ou mais dias consecutivos, ou cinco ou mais dias alternados. Para variáveis associadas a valores acumulados no período de interesse, como a precipitação, a recomendação é que se considerem apenas meses completos, ou seja, meses sem nenhum dado faltante (OMM, 2017).

Nesse sentido, foram identificadas as seguintes falhas com necessidade de correção dos dados de TMC: Em 2007 foram 12 dias alternados em janeiro, 4 dias seguidos em julho e 4 dias seguidos em novembro; Em 2008 foram 7 dias seguidos no mês de outubro; Em 2012 foram 3 dias seguidos de falhas em dezembro.

Para a correção dos dados de Temperatura Média Compensada foi utilizada a metodologia da regressão linear múltipla (RLM), que utiliza como variáveis independentes a latitude, a longitude, e a altitude das estações de apoio. Utilizando a fórmula PROJ.LIN no Excel foram obtidos como resultados os coeficientes da regressão, coeficiente de determinação $[R^2]$ e outras informações do modelo.

Os resultados obtidos através dos coeficientes das variáveis independentes serviram de base para estimar a temperatura do ar, através da equação da reta:

$$T = \beta_0 + \beta_1 Y + \beta_2 X + \beta_3 ALT$$

Onde:

- T = temperatura do ar estimada (°C);
- β_0 = constante de regressão;
- Y = coordenada geográfica da latitude (graus decimais);
- X = coordenada geográfica da longitude (graus decimais);
- ALT = altitude (metros);
- β_1 , β_2 e β_3 = coeficiente de regressão para as variáveis Y, X e ALT.

Para correção das falhas de temperatura foram utilizados dados de 6 (seis) estações de apoio próximas da Estação INMET Pampulha:

- Estação Belo Horizonte, código 83587;
- Estação Ibirité, código A555;
- Estação Florestal, código A535;
- Estação Ouro Branco, código A513;
- Estação Conceição do Mato Dentro, código 83589;
- Estação São João Del Rei, código A514.

Foram identificadas também falhas nos dados de precipitação nos anos e meses apresentados a seguir:

- 2007: 4 dias em janeiro, 4 dias em julho e 3 dias em novembro;
- 2008: 7 dias em outubro;
- 2012: 1 dia março e 3 dias em dezembro;
- 2013: 1 dia em março;
- 2020: 6 dias em setembro.

A correção das falhas de precipitação ocorreu utilizando-se a metodologia do Inverso da Distância (IDW), que é empregada quando se tem um determinado valor distribuído espacialmente e se quer estimá-lo para um ponto específico, conforme fórmula a seguir:

$$Z_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{Z_i}{d_i^p} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^p} \right)}$$

Onde:

- Zp = precipitação estimada (mm);
- n = o número de estações de apoio consideradas;
- i = as observações registradas (mm) nas estações de apoio;
- di = as distâncias entre as estações de apoio e a que será corrigida;
- p = potência (para correções recomenda-se utilizar o valor de 1).

Para calcular distância (di) entre pontos no Excel, com latitude e longitude em graus decimais, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$= 6371 * \text{ACOS}(\text{COS}(\text{RADIANS}(90\text{-LAT1})) * (\text{COS}(\text{RADIANS}(90\text{-LAT2}))) + \text{SEN}(\text{RADIANS}(90\text{-LAT1})) * \text{SEN}(\text{RADIANS}(90\text{-LAT2})) * \text{COS}(\text{RADIANS}(\text{LONG1-LONG2})))$$

Onde:

- LAT1 e LONG1 = Latitude e Longitude em graus decimais da estação a ser corrigida;
- LAT2 e LONG2 = Latitude e Longitude em graus decimais da estação de apoio.

Para correção das falhas de precipitação foram utilizados dados de 4 (quatro) estações de apoio próximas, localizadas dentro de um raio de 30km de distância da Estação INMET Pampulha. Para essa finalidade, foram extraídos dados de 2 (duas) estações do INMET e de 2 (duas) estações do sistema HIDROWEB da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), conforme listado a seguir:

- Estação INMET Belo Horizonte, código 83587;
- Estação INMET Ibirité, código A555;
- Estação ANA Betim, código 1944055;
- Estação ANA Belo Horizonte Horto, código 1943055.

Em função da dificuldade de localizar estações de apoio próximas à Estação INMET Pampulha contendo dados do ano de 2007 para o processo de correção, foi necessário descartar os dados deste ano.

Após correção das falhas e de posse dos valores mensais corrigidos, foram calculadas as médias mensais de temperatura média compensada e as médias mensais de precipitação acumulada para o período de 2008 a 2022, totalizando 15 anos completos de dados.

Na sequência foi calculado o valor de ETP, que representa o total mensal de evapotranspiração que ocorreria naquelas condições térmicas, para um mês padrão de 30 dias, em que cada dia teria 12 horas de fotoperíodo (Thornthwaite, 1948). Portanto, para se obter a ETP do mês correspondente, esse valor de ETP deve ser corrigido em função do número real de dias e do fotoperíodo do mês, conforme equação a seguir, sendo ND o número de dias do mês em questão, e N é o fotoperíodo médio daquele mês.

$$ETP = ETp \text{ Cor}$$

$$Cor = \left(\frac{ND}{30}\right)\left(\frac{N}{12}\right)$$

Após cálculo dos valores corrigidos de ETP para cada mês e utilizando também os valores médios mensais de TMC e de precipitação acumulada mensal, foi possível calcular os demais parâmetros necessários para realização do cálculo do Balanço Hídrico, que são:

- P - ETP: Precipitação menos evapotranspiração potencial (Valor positivo indica chuva em excesso, e valor negativo representa perda potencial de água).
- NEG-AC: Negativo acumulado (Quando o resultado da subtração P - ETP é positivo, o NEG-AC será igual a zero. Quando o resultado for valores negativos, no primeiro mesmo o NEG-AC será igual ao valor obtido e a cada mês seguinte de valor negativo será somado o valor negativo do mês anterior).
- ARM: Representa o armazenamento de água no solo.

Os parâmetros (NEG.AC e ARM) devem ser preenchidos simultaneamente. Inicia-se o preenchimento da coluna NEG.ACUM no primeiro mês em que o resultado de P - ETP for um valor negativo, após um período de valores positivos de P - ETP. Nesse primeiro mês o NEG.AC será igual a P - ETP. Com esse valor calcula-se o valor da coluna ARM pela equação a seguir (PEREIRA, ANGELOCCI, SENTELHAS, 2007):

$$ARM = CAD \cdot e^{\left[\frac{NEG \text{ ACUM}}{CAD}\right]}$$

Se o próximo mês também apresentar valor negativo de P-ETP, acumula-se este com o valor do mês anterior e utiliza-se esse valor para o cálculo de ARM. Isso prossegue enquanto P-ETP for negativo.

Quando aparecer um mês com P-ETP positivo, após uma sequência de P-ETP negativos, procede-se da seguinte forma: soma-se o valor positivo de P-ETP ao ARM do mês anterior, obtendo-se o ARM do mês em questão, que não deve ultrapassar o valor da CAD. Com esse valor de ARM obtém-se o NEG.ACUM do mês pela inversão da equação anterior, conforme segue abaixo (Pereira; Angelocci; Sentelhas, 2007):

$$NEG\ ACUM = CAD \ln \left[\frac{ARM}{CAD} \right]$$

Dando sequência aos cálculos dos demais parâmetros, temos:

- ALT: é a alteração no armazenamento de água no solo, calculado pela subtração do ARM do mês em questão pelo ARM do mês anterior.
- ETR: representa a evapotranspiração real, que ocorre em função da disponibilidade de água no solo. Existem duas situações distintas para seu cálculo: 1) quando $P - ETP \geq 0 \Rightarrow ETR = ETP$; 2) quando $ALT \leq 0 \Rightarrow ETR = P + |ALT|$.
- DEF: representa a Deficiência hídrica, ou seja, a falta de água no solo, sendo calculada por: $DEF = ETP - ETR$.
- EXC: representa o Excedente hídrico, ou seja, a quantidade de água que sobra no período chuvoso e se perde do volume de controle por percolação (drenagem profunda) e/ou escoamento superficial. Existem duas situações:

1) quando $ARM < CAD \Rightarrow EXC = 0$

2) quando $ARM = CAD \Rightarrow EXC = (P - ETP) - ALT$.