



Faculdade de Ciências
Departamento de Ciências Biológicas
Licenciatura em Ecologia e Conservação da Biodiversidade Terrestre

Culminação de Estudos II

Variante: (Trabalho de Investigação)

Efeito de Frequência de Queimadas na Qualidade de Solos no Parque Nacional de Maputo

Estudante:

Figuélia Manuel Cambula

Maputo, Dezembro de 2024



Faculdade de Ciências
Departamento de Ciências Biológicas
Licenciatura em Ecologia e Conservação da Biodiversidade Terrestre

Culminação de Estudos II

Variante: (Trabalho de Investigação)

Efeito de Frequência de Queimadas na Qualidade de Solos no Parque Nacional de Maputo

Estudante:

Figuélia Cambula

Supervisor:

Prof. Doutor Rogério Borguete Rafael

Co-supervisores:

Eng. Abel Lumbela

Eng. Hugo Mabilana

Maputo, Dezembro de 2024

AGRADECIMENTOS

- ✓ A Deus, pelo dom da vida, por me ajudar a superar as dificuldades e por me permitir chegar até aqui. A Ele toda honra e glória.
- ✓ Aos meus pais, por acreditarem sempre na minha vitória e por serem exemplos de amor que movem e unem nossa família.
- ✓ Ao meu avô, Armando Saul Cambula, pelo acolhimento durante a minha formação e pelos conhecimentos inestimáveis que levarei para toda a vida.
- ✓ Aos meus supervisores, Prof. Doutor Rogério Borguete Rafael, Eng. Abel Lumbela, e ao co-supervisor Eng. Hugo Mabilana, pela paciência, compreensão, ensinamentos, apoio ao longo dessa jornada.
- ✓ Aos docentes do Departamento de Ciências Biológicas, em especial ao Dr. Cornélio Ntumi, agradeço pelas orientações durante a construção deste empreendimento, ao Eng. Hugo Mabilana e Dr^a. Alice Massingue pela ajuda na colecta de dados.
- ✓ Aos funcionários do Departamento de Ciências Biológicas e da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane, em especial ao dr. António Machava, dr^a. Ernestina, Sr. Albano e Sr. João
- ✓ Aos meus irmãos Isaura, Samuel, Saquina e Belarmino pela amizade, suporte e irmandade.
- ✓ Ao meu noivo Stanley Mataio por aceitar minha ausência nos momentos em que mais precisou de mim, pela compreensão e apoio incondicional. Acima de tudo, por ter acreditado em mim durante essa árdua caminhada.
- ✓ Às minhas grandes amigas Manuela Manuel e Madalena Francisco, pelo amor, carinho, força e apoio moral que sempre deram ao longo da minha formação principalmente nos momentos em que mais precisei de um ombro amigo.
- ✓ Aos meus colegas, António António, Cláudia Chambule, Afina Uane, Judite Jofrisse, Amina Amane, Esmiralda Bonifácio, Hanifa Suleimane, pelos momentos bons e maus que de certa forma me ajudaram a reavivar e me deram forças para continuar. Em especial, a Líria Thiago pela ajuda incondicional e companheirismo na colecta de dados, e ao Samuel Tacuana por estender suas mãos em um momento de grande dificuldade.
- ✓ Enfim, a todos aqueles que de uma forma ou de outra colaboraram para que os obstáculos fossem transpostos e os objectivos propostos alcançados. O meu mais sincero: MUITO OBRIGADO.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Figuélia Manuel Cambula, Declaro por minha honra que este relatório é fruto de uma investigação por mim realizada e nunca foi submetido para obtenção de qualquer outro grau académico ou publicação que não seja o indicado: “Licenciatura em Ecologia e Conservação da Biodiversidade Terrestre” pela Universidade Eduardo Mondlane em Maputo, Moçambique.

Maputo, 10 de Dezembro de 2024

(Figuélia Manuel Cambula)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Manuel Saul Cambula e Ana Comissal Sema e o meu avô, Armando Saul Cambula pelo amor, carinho e educação, mesmo cientes dos desafios que enfrentariam nesta nova jornada.

RESUMO

O Parque Nacional de Maputo (PNAM), como a maioria das áreas de conservação em Moçambique, enfrenta queimadas periódicas devido a diversos factores, como abertura de novas áreas para cultivo, actividades de caça, incêndios acidentais, entre outros. Localizado na Província de Maputo, Distrito de Matutuíne, essas queimadas podem impactar a biodiversidade local e a qualidade do solo. Este estudo teve como objectivo avaliar o efeito da frequência de queimadas na qualidade do solo por meio de indicadores físico-químico no PNAM. A amostragem foi realizada entre 1 a 15 de Outubro de 2021, considerando três níveis de frequência de queimadas (Alta, Média e Baixa), definidos com base na periodicidade de ocorrência. Para os indicadores físicos-químicos do solo, foi utilizada uma amostra de tamanho $n=18$, enquanto a macrofauna do solo (indicadores biológicos) foi amostrada em 9 quadrículas independentes de 30x30 m. Os dados foram analisados estatisticamente com o software Statistica versão 8.0, utilizando ANOVA com nível de significância de 5%. Os resultados indicaram que quase todos os indicadores físico-químico da qualidade do solo do PNAM não apresentaram diferenças estatisticamente significativas, com excepção do pH em H₂O (Anova, $F=42,7$: ($p<0,05$)). Os indicadores biológicos do solo, como abundância e diversidade, também não mostraram diferenças significativas entre os níveis de frequência de queimadas ($p>0,05$). Assim, os resultados sugerem que não há evidências estatísticas de que a frequência de queimadas afecte significativamente a qualidade do solos no Parque Nacional de Maputo, no período estudado.

Palavras-chave: Frequências de queimadas, Indicadores de qualidade dos solos, Parque Nacional de Maputo.

LISTA DE ABREVIATURAS

ANOVA	<i>Analysis of variance/ Análise de variância</i>
CE	Condutividade eléctrica
CO	Carbono orgânico
K	Potássio
MO	Matéria orgânica
pH	Potencial de Hidrogénio
T(°C)	Temperatura em graus celsius
UEM	Universidade Eduardo Mondlane
PNAM	Parque Nacional de Maputo
P	Fósforo
REM	Reserva Especial de Maputo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa do Parque Nacional de Maputo.....	12
Figura 2. Desenho Experimental.....	18
Figura 3. Disposição de Armadilhas Pitfall ¹ ao logo dos Transectos.	20
Figura 4. Disposição de pontos de colecta de amostras de solos	22
Figura 5. Abundância média de macrofauna em diferentes níveis de frequência de queimadas.....	28
Figura 6. Diversidade de macrofauna do solo em diferentes níveis de frequência de queimadas (baixa, média e alta) do PNAM.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Métodos laboratoriais usados para determinação de indicadores Físico químicos do solo.	23
Tabela 2. Resultados estatísticos dos parâmetros físicos-químicos da qualidade do solo nos níveis de frequências de queimada (alta, média e baixa).....	26
Tabela 3. Número de indivíduos dos grupos taxonómicos de macrofauna em diferentes níveis de Frequência de queimada.	27
Tabela 4. Análise de similaridades entre os diferentes habitats.	28
Tabela 5. Valores médios de abundância de macrofauna em diferentes níveis de queimadas.....	29
Tabela 6. Resultados de análise estatística dos parâmetros de diversidade de macrofauna em diferentes níveis de queimadas no PNAM.	30

LISTA DE ANEXO

Anexo 1. Dados de indicadores físicos-químicos	43
Anexo 2. Dados de Amostras obtidos da área de altas frequências de queimadas	45
Anexo 3. Dados de Amostras obtidos da área de média frequência de queimadas	45
Anexo 4. Dados de Amostras obtidos da área de baixa frequência de queimadas.....	46
Anexo 5. Anexo teste de levene	46
Anexo 6. Análise de variância dos indicadores físicos – químicos do solo.....	46
Anexo 7. Teste de Tukey para pH H ₂ O.	47
Anexo 8. Teste de Kruskal-Wallis ANOVA de Sódio.....	47
Anexo 9. Teste de Kruskal-Wallis ANOVA de Potássio.....	48
Anexo 10. Teste de Kruskal-Wallis ANOVA de % areia.....	48
Anexo 11. Teste de Kruskal-Wallis ANOVA de Fosforo.....	48
Anexo 12. Teste de Friedman ANOVA para os diferentes níveis de frequências de grupos taxonómicos de macrofauna.	49
Anexo 13. Teste de Homogeneidade de Levene.para abundancia de macrofauna	49
Anexo 14. Análise de variância para abundancia de macrofauna	49

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	iii
DECLARAÇÃO DE HONRA	iv
DEDICATÓRIA	v
RESUMO	vi
LISTA DE ABREVIATURAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE ANEXO	viii
1. Introdução	1
1.1. Problema	3
1.2. Justificativa	3
2. OBJECTIVOS	5
2.1. Objectivo Geral	5
2.2. Especifico	5
3. HIPÓTESE	6
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
4.1. Solo	7
4.3. Efeito das queimadas na qualidade do solo	8
4.5. Indicadores de Qualidade do Solo	10
5. ÁREA DE ESTUDO	12
5.1. Localização Geográfica	12
5.2. Características físicas geográficas	12
5.2.1. Características geológicas	13
5.2.2. Recursos hídricos	13
5.3. Características bióticas	14
5.3.1. Vegetação	14
5.3.2. Fauna	14
5.4. Aspectos socio-económicos	14

6. METODOLOGIA	17
6.1. MATERIAIS.....	17
6.2. MÉTODO	18
6.2.1. Amostragens de campo	18
6.2.2. Procedimentos de colecta das amostras de Macrofauna e amostra de solo.....	19
6.2.3. Amostras de Macrofauna.....	19
6.2.4. Análise laboratorial de amostras de solos	22
6.3. Análise dos dados	23
6.3.1. Análise estatística	25
7. RESULTADOS.....	26
7.1. Indicadores físicos-químicos de qualidade de solo	26
7.2. Indicadores biológicos de qualidade do solo	27
7.2.1. Similaridades entre áreas de queimadas	27
7.2.2. Abundância de macrofauna do solo	28
7.2.3. Diversidade de macrofauna do solo	29
8. DISCUSSÃO	30
8.1. Determinação dos Indicadores físicos-químicos do solo.....	30
8.2. Comparação de indicadores físicos-químicos de qualidade do solo três níveis de frequência de queimada do PNAM	33
8.3. Comparação de indicador biológico de qualidade do solo em três níveis de frequência de queimada do PNAM	33
9. CONCLUSÃO	36
10. LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES.....	37
10.1. Limitações	37
10.2. Recomendações.....	37
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
12. ANEXO.....	43

1. Introdução

Nas últimas décadas observou-se o agravamento das queimadas em todo mundo e estima-se que somente no ano de 2000, aproximadamente 350 milhões de hectares de florestas foram devastadas por queimadas (FAO, 2007).

Em África, as queimadas fazem parte do modo de vida das populações rurais como meio de gestão de terra e dos recursos naturais que ocorrem anualmente durante o período seco e no início das campanhas agrícolas e de caça (Maunze, 2016). Moçambique é um dos países da África Austral que se regista anualmente incidência de queimadas consideradas como um fenómeno que modifica a funcionalidade dos solos, estrutura da paisagem, o padrão e a composição das espécies nos ecossistemas (MICOA, 2012)

Pode-se definir queimadas como sendo a aplicação manual e controlada do fogo em áreas pré-determinadas, como maneo para fins agrícolas ou florestais enquanto os incêndios são caracterizados pela queima não controlada de grandes extensões de áreas florestais ou qualquer outra forma de vegetação (Vieira, 2016). Estas são classificadas em queimadas antropogénica, causadas de forma directa ou indirecta pela acção do homem para limpeza de terreno agricultura, negligência, caça, colecta de mel, produção de carvão, controle de espécies indesejáveis, fogueiras abandonadas por campistas, ou queimadas naturais promovidas por acções da própria natureza, como as descargas eléctricas, raios e vulcanismo (Ossene, 2015)

Deste modo, as queimadas são vista como distúrbios que provocam mudancas nos ecossistemas (Silva, 2011). Assim, A teoria de distúrbio intermédio prediz que níveis intermédios de perturbação conduzem a maior diversidade de espécies, e em baixos níveis, sobreviverão um pequeno número de espécies competitivamente dominantes e em ambientes alto, as únicas espécies que toleram o distúrbio são as que vão sobreviver (Shea *et al.*, 2004)

Muitas das vezes, esses distúrbios depende da sua intensidade e frequência podendo no entanto afectar os organismos da macrofauna do solo através dos efeitos sobre seu habitat, sendo que elas reduzem a biomassa ou material orgânico que directa ou indirectamente altera

características físicas, químicas, morfológicas e biológicas dos solos, como o pH e teor de nutrientes entre outras (Pecorar, 2016).

Alguns estudos como o de Ruiz (2008) relata que os solos com diversidade e abundância de macrofauna apresentam maior produtividade. Essa percepção é sustentada por estudos feito por Melo *et al.* (2009), ao afirmar que estes organismos têm a capacidade de actuar nos processos biológicos, físicos e químicos do solo onde produzem agregados ricos em nutrientes, melhorando a retenção de água, porosidade e a estabilidade do solo.

Assim, os efeitos das queimadas no solo podem ser positivos ou negativos. Os impactos negativos estão associados aos factores económicos, sociais e ambientais, Porém, se o manejo for correcto, as queimadas podem trazer impactos positivos como o incremento imediato de nutrientes no solo, disponibilizando-os imediatamente às plantas (Vieira, 2016).

O Parque Nacional de Maputo (PNAM), assim como a maioria das áreas de conservação em Moçambique, enfrentam queimadas periódicas devido à abertura de novas áreas para cultivo, actividades de caça, abertura de caminhos para facilitar a circulação das populações, produção de carvão, renovação de áreas de pastagem, redução de material combustível, controle de espécies vegetais indesejáveis, controle de pragas, entre outros (MICOA, 2012).

Existe um amplo e complexo conjunto de indicadores do solo que podem ser utilizados para estudos de qualidade do solo, os quais podem ser químicos, físicos e biológicos. A avaliação da por meio desses indicadores tem se tornando um valioso instrumento, cada vez mais eficaz para definir a capacidade do sistema de se manter e de viabilizar-se no presente e no futuro. Neste contexto, a avaliação conjunta dos atributos físicos e químicos do solo é importante para identificar prováveis causas da falta de sustentabilidade do solo e averiguar a qualidade do mesmo. Assim, o objectivo do presente estudo pretende contribuir para o conhecimento dos efeitos que as queimadas possa causar no solo, identificando as alterações decorrentes por meio de indicadores de qualidade do solo no Parque Nacional de Maputo, bem como obter informações que auxiliem no processo de tomada de decisões sobre o manejo e gestão das queimadas.

1.1. Problema

Em todos os ecossistemas o fogo afecta a sucessão vegetal e por sua vez a composição de espécies animais, ameaçando desta forma a preservação da biodiversidade, afectando ciclagem de nutrientes reduzindo a biodiversidade consequentemente a diminuição da resiliência dos ecossistemas (Maunze, 2016).

As comunidades que vivem no Parque Nacional de Maputo são maioritariamente pobres e dependem de algumas actividades (agricultura, caça, produção de mel entre outras) para sua subsistência. Esta actividade é praticada manualmente com base no corte e queima da vegetação (Massuque, 2023).

Embora o fogo tenha efeitos benéficos em alguns ecossistemas, este pode ter impactos negativos na cobertura do solo, bem como na dinâmica da comunidade de organismos quando o regime natural ultrapassa faixa aceitável (Ossene, 2015).

Os efeitos da queimada nos atributos físicos, as cinzas resultantes da queima podem causar o entupimento dos poros, reduzindo a taxa de infiltração de água, alterando a humidade e aumentando o risco de erosão por outro lado, nos atributos químicos as alterações das queimadas impactam à oxidação de matéria orgânica, a liberação de CO₂ na atmosfera, alteração da concentração de compostos químicos como P, K e Mg, podendo ocorrer aumento destes compostos no solo, pela liberação imediata, ou diminuição, pela lixiviação. Já os atributos biológicos, estão intimamente ligados a macrofauna do solo esses apresentam, grande sensibilidade a quaisquer alterações referente as queimadas (Vieira, 2016)

Não obstante, o Parque Nacional de Maputo (PNAM) enfrenta queimadas periódicas. Em alguns casos, essas queimadas podem levar a degradação de determinados serviços ambientais (MICOA, 2012). Dai que se levanta a seguinte questão: *Até que ponto a frequência das queimadas influencia os indicadores físicos-químicos e biológicos de qualidade do solo no Parque Nacional de Maputo?*

1.2. Justificativa

A Avaliação da qualidade do solo é uma combinação de propriedade físicas, químicas e biológicas que contribuem para a compreensão dos limites da funcionalidade do solo bem como esclarecer quais são as medidas necessária para a recuperação em caso de degradação. (Silva *et al.*, 2020).

A ocorrência de queimadas em áreas de conservação pode ser considerado uma grave ameaça para a conservação da Biodiversidade e manutenção de processos ecológicos (Massuque, 2023)

O Parque Nacional de Maputo faz parte das áreas de conservação em Moçambique que ainda continua a registar comunidades residentes onde geralmente enfrentam problemas sérios de pobreza devido ao fraco desenvolvimento económico. Nessa região a biodiversidade representa um pilar vital para sua sobrevivência e sustento visto que a agricultura, pesca, produção de carvão, mel, corte de lenha tem sido actividades que são praticadas ao nível da comunidade que frequentemente tem usado o fogo que podem levar as queimadas colocando em causa vários serviços ambientais (Massuque, 2023).

As consequências e os impactos negativos das queimadas constituem preocupação nacional e internacional por serem não só fontes de emissões de gases com o efeito estufa que contribuem para as mudanças do clima global, mas também fontes de degradação dos recursos naturais.

O solo é um recurso natural fundamental para a sobrevivência humana e dos demais seres vivos que habitam na superfície terrestre. A utilização inadequada deste recurso, pode levar à degradação da produtividade uma vez que está envolvido em actividades essenciais, como a manutenção da biodiversidade, agricultura, pecuária, reflorestamento, habitação e construção de infra-estruturas (Silva *et al.*, 2020)

Deste modo, para além de dar a conhecer a composição dos organismos da macrofauna do solo nos diferentes níveis de frequência de queimadas, este estudo irá fornecer informação que pode ser usada para a gestão de queimadas no Parque Nacional de Maputo no delineamento de estratégias para redução da degradação dos solos bem como ajudar a entender até que ponto os indicadores físico-químicos e biológicos respondem aos efeitos de frequências de queimada no Parque Nacional de Maputo visto que fundamenta em adoptar práticas de manejo e conservação do solo garantindo assim a sua preservação para as gerações futuras.

2. OBJECTIVOS

2.1. Objectivo Geral

- ✓ Avaliar o efeito de frequência de queimadas na qualidade do solo no Parque Nacional de Maputo.

2.2. Especifico

- ✓ Determinar indicadores (Físicos, Químicos e Biológicos) de qualidade de solo em três níveis de frequência de queimadas (baixo, médio e alto) no Parque Nacional de Maputo;
- ✓ Comparar a qualidade do solo por meio de indicadores (Físicos-Químicos) nos três níveis de frequência de queimada (alta, media e baixa) no Parque Nacional de Maputo;
- ✓ Comparar a qualidade do solo por meio de indicadores biológicos (abundância e diversidade de macrofauna do solo) nos três níveis de frequência de queimada (alta, media e baixa) no Parque Nacional de Maputo;

3. HIPÓTESE

A hipótese de distúrbio intermediário postula que a ocorrência de perturbações em níveis moderados resulta em uma maior diversidade de espécies que coexistem em um determinado ambiente (Shea, 2004). A teoria enfatiza que em ambientes com baixos níveis de perturbação, é provável que apenas um pequeno número de espécies dominantes sobreviva. Por outro lado, em ambientes com altos níveis de perturbação, apenas as espécies capazes de tolerar essas perturbações específicas serão capazes de sobreviver, o que pode levar a uma perda de qualidade dos nutrientes do solo e baixa produtividade do mesmo. Assim, em níveis intermediários de perturbação, ocorre um equilíbrio entre exclusão competitiva e perda de espécies dominantes, criando condições favoráveis para a coexistência de espécies competitivas e espécies tolerantes às perturbações.

Com base nestes pressupostos formulam-se as seguintes hipóteses:

Hipótese Nula (H_0):

A frequência de queimada não influencia na qualidade do solo no Parque Nacional de Maputo visto que as praticas adoptadas para a gestão de queimadas são ideias para a funcionalidade do solo

Hipótese Alternativa (H_1):

A frequência de queimadas influencia na qualidade do solo no Parque Nacional de Maputo, visto que as praticas adoptadas para a gestão de queimadas não são ideias para a funcionalidade do solo sendo que:

- ✓ Frequências altas de queimada reduzem a qualidade do solo, resultando em menor diversidade e abundância de macrofauna, além de deterioração nos parâmetros físicos-químicos e biológico do solo.
- ✓ Frequências intermediárias de queimadas promovem o aumento da diversidade e abundância da macrofauna e manutenção dos parâmetros físico-químico e biológico do solo.
- ✓ Frequências baixas favorecem a dominância de poucas espécies e podem limitar a reciclagem de nutrientes e funcionalidade do solo.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Solo

O solo é a base de sustentação de todo habitat vegetal e animal, decorrente da interação dos factores de sua formação: clima, relevo, organismos e tempo sob um material de origem, garantindo a sustentação da vegetação e funcionamento dos ecossistemas (Silva *et al.*, 2020).

Este é considerado um recurso natural, tornando-se de extrema importância, pois possui a capacidade de promover a produção de alimentos, sendo fundamental na protecção ambiental e exercendo funções importantes, como: meio para o crescimento vegetal, ciclagem de nutrientes e a regulação do fluxo da água para o lençol freático (Sirtoli, 2007)

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE, (2007) Entre vários conceitos relacionados ao solo, adota-se aquele estabelecido pelo "*Soil Taxonomy*" (1975) e pelo "*Soil Survey Manual*" (1984), que define o solo como a colectividade de indivíduos naturais na superfície terrestre, que pode ser eventualmente modificado ou construído pelo ser humano, contendo matéria orgânica viva e servindo como suporte para o crescimento de plantas.

4.2. Função do solo

O solo interage com todos os seres vivos, sendo responsável pela absorção e disponibilidade de nutrientes para as plantas, que posteriormente são utilizados por todos os seres. Além disso, abriga uma grande diversidade de organismos que promovem o reaproveitamento dos nutrientes (Motta e Barcellos, 2007).

Segundo Lozada, (2015), o solo desempenha múltiplas funções, sendo algumas delas:

- ✓ Sustentar o crescimento das plantas, fornecendo suporte mecânico, água e nutrientes essenciais para sua existência;
- ✓ Determinar o destino da água na superfície terrestre, influenciando sua perda, utilização, contaminação e purificação;
- ✓ Desempenhar um papel fundamental na reciclagem de nutrientes, assimilando corpos de animais e restos de plantas e convertendo-os em matéria orgânica ou húmus do solo;

- ✓ Servir como habitat e abrigo para uma grande quantidade de organismos vivos e mortos, que influenciam as características do solo;
- ✓ Fornecer material para construção de infra-estruturas e servir como base para todas as estruturas construídas.

4.3. Efeito das queimadas na qualidade do solo

A perda dos processos físicos e químicos ocorre em temperaturas relativamente mais altas do que os processos biológicos. A perda de matéria orgânica começa na faixa de 200 a 315°C, resultando em uma redução substancial dessa matéria orgânica. Em condições cumulativas, isso causa a quebra da estrutura do solo, redução da retenção de humidade, aumento do distanciamento da água, alterações na quantidade e nos fluxos de ciclagem ou disponibilidade de nutrientes, perda de elementos para a atmosfera, erosão, redução da matéria orgânica e alteração ou perda de espécies na biota do solo resultando na perda da qualidade do solo (Bernardes, 2019).

De acordo com Guimarães *et al.* (2014), a ocorrência de queimadas provoca alterações na composição, estrutura e padrões dos ecossistemas, resultando conseqüentemente na cadeia ambiental que afectam o processo produtivo que reduzem a viabilidade económica e ecológica, incluindo a destruição de habitats a alteração e degradação das populações de flora e fauna.

Essas alterações podem ser temporárias ou definitivas, dependendo de factores como tipo de solo, cobertura vegetal, duração e quantidade de material combustível, intensidade e frequência de uso, tipo de combustão, grau de oxidação, tipo de vegetação, clima, declive, topografia, textura, humidade e conteúdo de matéria orgânica do solo, tempo desde a última queimada e a área queimada (Guimarães *et al.*, 2014).

Redin *et al.*, (2011), detalham os efeitos das queimadas nos indicadores de qualidade do solo constatando que:

- ✓ Nos indicadores físicos: as queimadas causam alterações, como a diminuição do volume de macroporos, do tamanho dos agregados e da taxa de infiltração de água. Isso afecta a

humidade do solo devido às mudanças na taxa de infiltração e transpiração, resultando em uma redução da quantidade de água disponível no solo, o que leva ao aumento da densidade do solo e conseqüentemente à resistência à penetração de raízes.

- ✓ Nos indicadores químicos: a queima da vegetação morta enriquece a camada superficial do solo com a maioria dos nutrientes, pois catalisa o processo de mineralização visto que, teores de N, P, K, Ca e Mg podem aumentar imediatamente após o fogo, devido às cinzas que possuem alta concentração desses nutrientes. Como as plantas só absorvem nutrientes mineralizados, é natural que elas cresçam mais rapidamente em um determinado tempo em áreas queimadas.
- ✓ Nos indicadores biológicos: as queimadas afectam em maior ou menor intensidade, os micro-organismos e a fauna do solo, que utilizam o solo como habitat e desempenham funções importantes na ciclagem de nutrientes. Isso depende das condições ambientais durante a passagem do fogo, como o tipo de solo da área, a frequência das queimadas e a quantidade de material combustível disponível. Esses factores podem determinar a intensidade e a duração das queimadas, influenciando a resposta da fauna do solo e conseqüentemente na qualidade do solo.

4.4. Qualidade de solo

Segundo Sojka e Upchurch (1999) citado por (Araújo *et al.* 2012), enfatizam que a definição da qualidade do solo depende da forma como o solo é explorado ou utilizado, sendo definida em função da resposta do grau de produtividade que ele proporciona de acordo com as necessidades humanas. Por outro lado, Karlen *et al.* (1997), citado por Araújo *et al.* (2012), afirmam que a qualidade do solo não pode ser medida directamente, mas pode ser avaliada por meio de indicadores que permitem caracterizar, avaliar e acompanhar as alterações ocorridas em um determinado ecossistema devido às actividades humanas.

Flora (2016), define a qualidade do solo levando em consideração sua capacidade de funcionar dentro de um ecossistema, sustentando a produtividade agrícola e biológica, mantendo a qualidade ambiental e promovendo a saúde humana, das plantas e dos animais.

Lozada (2015), define a qualidade do solo como a capacidade ou especificidade do solo em desempenhar várias funções dentro dos limites de uso da terra e do ecossistema, sustentando a produtividade biológica, mantendo ou melhorando a qualidade ambiental e contribuindo para a saúde das plantas, dos animais e para o sustento das actividades humanas.

O conceito mais utilizado de qualidade do solo é aquele proposto pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA 2010 citado por Lozada 2015). Estes narram que qualidade do solo "é um corpo natural composto por sólidos, líquidos e gases na superfície da terra, caracterizado por horizontes e resultante de agregações, perdas, transferências e transformações de matéria e energia, e pela sua capacidade de suportar as plantas".

Segundo Camargo, (2016) para que o conceito de qualidade do solo seja efectivo, é necessário compreender suas variáveis do passado para conhecer seu estado actual e perspectivar suas tendências em relação à sustentabilidade das plantas e actividades humanas. E isso pode ser mensurado por meio de indicadores de qualidade do solo.

4.5. Indicadores de Qualidade do Solo

A selecção de indicadores é fundamental para a avaliação da qualidade do solo. Estes referem-se a atributos que influenciam a capacidade do solo para realizar as suas funções ambientais. A ciência utiliza vários métodos de avaliação da qualidade do solo, todos baseados em indicadores, podendo ser físicos, químicos e biológico. Esses indicadores são atributos mensuráveis, ou seja, podem se apresentar de forma quantitativa ou qualitativa sendo capazes de avaliar alterações ocorridas num dado ecossistema (Souza, *et al.*, 2015).

- ✓ Os indicadores Físicos ou mecânicos do solo estão relacionados à desintegração das partículas do solo devido ao intemperismo e à diferenciação da camada superficial. Eles incluem capacidade de uso, aeração, capacidade de drenagem e armazenamento de água, densidade, plasticidade, retenção de nutrientes, textura, estrutura, porosidade, humidade, permeabilidade, infiltração e penetrabilidade (Araújo *et al.*, 2012).

- ✓ Os indicadores Químicos do solo são influenciados pela decomposição do material de origem e da matéria orgânica, sendo responsáveis pela fertilidade do solo. Esses indicadores incluem teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, acidez, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica e saturação de bases. Eles afetam o fornecimento e a disponibilidade de nutrientes para as plantas (Araújo *et al.*, 2012).

- ✓ Os indicadores Biológicos do solo estão relacionados à presença de organismos vivos e sua atividade. Isso inclui a biomassa microbiana do solo, nitrogênio mineralizável, respiração microbiana, atividade enzimática, diversidade de bactérias, protozoários, nematódeos, micorrizas, ácaros, vermes, colêmbolos, isópteros, artrópodes e dípteros. Esses organismos desempenham papéis importantes na decomposição de materiais orgânicos, mineralização de compostos orgânicos, ciclagem de nutrientes, aeração e infiltração de água no solo (Araújo *et al.*, 2012; Souza *et al.*, 2015).

5. ÁREA DE ESTUDO

5.1. Localização Geográfica

O Parque Nacional de Maputo (PNAM) localiza-se na Província de Maputo, Distrito de Matutuine, a Sul da Península de Machangulo tem uma área de aproximadamente 678 km², apresenta os seguintes limites geográficos (Manhiça, Nhalevilo e Antunes, 2020) e (Figura 1):

- ✓ Norte: Baía de Maputo;
- ✓ Este: Oceano Índico;
- ✓ Oeste: Rio Maputo, Rio Futi e uma linha de 2km a Este da estrada de Salamanga - Ponta do Ouro;
- ✓ Sul: Extremidade Sul do Lago Xingute e do Lago Piti.

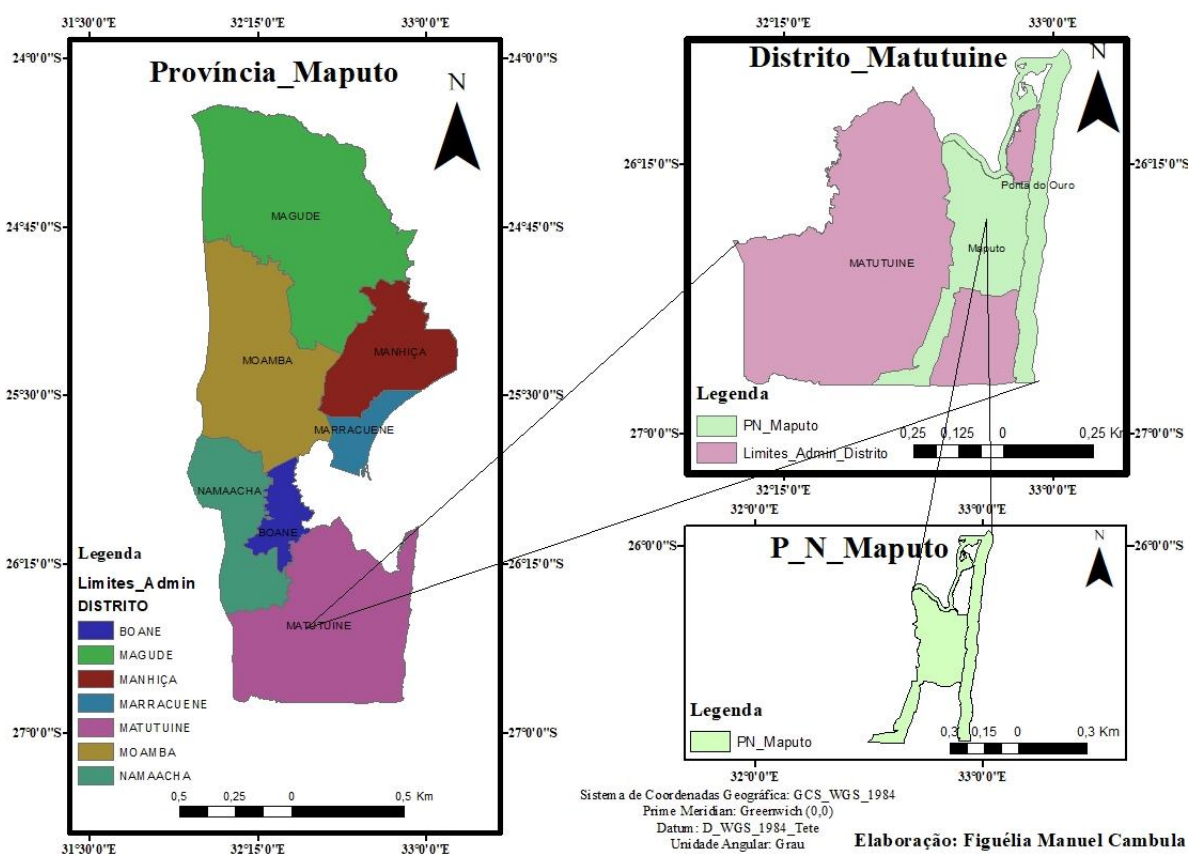


Figura 1. Mapa do Parque Nacional de Maputo

Fonte: CENACARTA

5.2. Características físicas geográficas

Parque Nacional de Maputo possui características físico-geográficas semelhantes às do distrito de Matutuine. A região é caracterizada por um clima subtropical, com duas estações distintas ao

longo do ano. A estação chuvosa ocorre de Novembro a Abril, sendo o mês de Janeiro o mais chuvoso, com uma precipitação média mensal de cerca de 130mm. A estação seca estende-se de Maio a Setembro, sendo os meses de Julho e Agosto os mais secos, com uma média mensal de precipitação de cerca de 13mm (MICOA, 2012).

A temperatura média anual na região é de 22,9°C. O mês de Fevereiro é o mais quente, com uma temperatura média mensal de 26,0°C, enquanto o mês de Julho é o mais frio, com uma temperatura média mensal de 19,1°C (MICOA, 2012).

5.2.1. Características geológicas

O distrito de Matutuine está localizado na planície costeira de Moçambique, com uma altitude gradualmente crescente do litoral em direção ao interior do distrito. Sua altitude máxima é inferior a 500m e encontra-se na Cadeia dos Pequeno Libombos, na fronteira com a Suazilândia. A geologia do distrito é predominantemente composta por rochas sedimentares do Quaternário, como dunas interiores, aluviões recentes e areias argilosas de planície de inundação. Além disso, existem rochas vulcânicas do Jurássico, como basaltos e riólitos, e rochas sedimentares do Terciário, como margas argilosas e calcários (MICOA, 2012).

Os solos na região são principalmente arenosos na zona costeira e no interior do distrito. Da área do Parque Nacional de Maputo em direção à costa da baía, os solos são compostos por sedimentos marinhos estuarinos. Ambas as áreas apresentam uma capacidade de retenção de água fraca e uma taxa de infiltração elevada, especialmente ao longo dos principais vales fluviais, onde ocorrem solos aluvionares com uma alta concentração de argila, resultando em uma capacidade significativa de retenção de água (MAE, 2005).

5.2.2. Recursos hídricos

O distrito de Matutuine é atravessado por um dos principais rios de Moçambique, o Rio Maputo, que tem sua nascente na vizinha África do Sul e deságua na baía de Maputo. Além disso, o distrito é cortado por outros rios, como o Rio Tembe, que faz fronteira com os distritos de Boane e Namaacha e desagua no Rio Matola. Outro rio importante é o rio Futi, que atravessa

longitudinalmente todo o distrito e desagua em uma lagoa antes da baía de Maputo. Além dos rios, o distrito possui inúmeras lagoas costeiras (MICOA, 2012).

5.3. Características bióticas

5.3.1. Vegetação

O distrito de Matutuine é abrangido por duas unidades fitogeográficas á saber:

- ✓ Mosaico Regional Tongoland - Pondoland: que se estende desde a foz do Rio Limpopo até ao sopé de Drankensberg em Porth Elizabeth, na África do Sul;
- ✓ Centro de Endemismo de Maputaland: que compreende a região situada entre o Rio Inkomati a Norte, os Montes Libombos a Oeste, o Estuário de St. Lúcia no Sul e o Oceano Índico a Este.

Três (03) tipos de vegetação são predominantes da costa ao interior do distrito de Matutuine à destacar:

- ✓ Na região litoral: vegetação dunar, brenhas e florestas costeiras;
- ✓ Na região interior: matas e florestas arenosas;
- ✓ Na região sub - litoral ao longo da bacia do rio Maputo: Mosaico de flora aquática de aluvião.

5.3.2. Fauna

O Parque Nacional de Maputo possui uma vegetação que oferece um rico e diverso habitat para várias espécies herbívoras, tais como elefantes (*Loxodonta africana*), impalas (*Aepyceros melampus*), Changos (*Redunca arundinum*), Porcos do mato (*Potamochoerus larvatus*), Cudus (*Tragelaphus strepsiceros*), Inhalas (*Tragelaphus angasii*), Pivas (*Kobus ellipsiprymnus*), Cabritos vermelhos (*Cephalophus natalensis*) e Cabritos cinzentos (*Sylvicapra grimmia*) (DNAC, 2009).

5.4. Aspectos socio-económicos

O distrito de Matutuine abrange uma área de aproximadamente 5.340 km² e possui uma população estimada em 43.664 habitantes, sendo 21.556 homens e 22.108 mulheres (MICOA, 2012; INE, 2020). Administrativamente, o distrito está subdividido em cinco postos administrativos: Bela Vista – Sede, Catembe – N'sime, Catuane, Machangulo e Zitundo. A etnia

predominante é a Ronga, integrante do grupo populacional Tsonga. Além disso, o distrito abriga outras etnias, como os Nguni, historicamente relacionados aos Zulos da região de KwaZulu-Natal, os Matsua, originários de Inhambane, e os Changana, provenientes da Província de Gaza e do norte de Maputo. A língua mais falada é o Chironga.

De acordo com o Boletim da República (2021), os equipamentos sociais e os serviços disponíveis no distrito de Matutuíne requerem melhorias significativas. As escolas existentes limitam-se ao nível primário, o que contribui para o baixo nível de escolaridade da população. Além disso, os centros de saúde oferecem apenas serviços básicos, obrigando os habitantes a buscar atendimento complementar ou especializado em Maputo ou na África do Sul.

Devido ao baixo nível de desenvolvimento, a economia do distrito é predominantemente sustentada por actividades do sector primário, como agricultura, silvicultura, pesca e mineração. Apenas uma pequena parcela da população está envolvida no comércio informal e no turismo. O distrito destaca-se pela diversidade de seus recursos marinhos, costeiros e faunísticos, bem como pela beleza de suas paisagens naturais (Boletim da República, 2021).

No sentido de proteger os recursos naturais da PNAM, esta desenvolve um projecto de agricultura de conservação que consiste no fornecimento de sementes de hortícolas às comunidades instaladas na zona tampão para que estas desenvolvam uma agricultura de subsistência sem devastar a biodiversidade da PNAM (Manhiça *et al.*, 2020).

A população do distrito de Matutuine obtém principalmente água de poços e furos equipados com bombas manuais, porém em quantidades insuficientes (Boletim da República, 2021). Apesar da existência de pequenos sistemas de abastecimento de água nas sedes dos postos administrativos, esses sistemas enfrentam diversos problemas de gestão e manutenção. Manhiça *et al.* (2020) mencionam que o Parque Nacional de Maputo tem aberto furos de água próximos às comunidades, visando proteger os ecossistemas aquáticos e evitar que as pessoas precisem buscar água nos rios da reserva.

Em relação à energia eléctrica, o distrito é atendido pelo sistema da rede eléctrica nacional, porém a taxa de cobertura é baixa, levando a maior parte da população a utilizar fontes alternativas de energia, como petróleo e carvão vegetal (Boletim da República, 2021).

Quanto à infra-estrutura viária, a rede de estradas no distrito é precária, o que dificulta o acesso às áreas de produção e obtenção de matéria-prima para os diferentes locais de consumo ou processamento. Embora haja uma linha férrea operacional até Salamanga, ela é exclusivamente utilizada para o transporte de matéria-prima industrial, como calcário, para a Fábrica de Cimentos de Moçambique, deixando outras mercadorias e a mobilidade da população em segundo plano.

Devido à baixa densidade populacional e ao baixo nível de desenvolvimento, o distrito de Matutine enfrenta problemas sanitários de magnitude reduzida (Manhiça *et al.* 2020). Embora não haja sistemas de saneamento de águas pluviais e domésticas em sua área, a população utiliza métodos tradicionais, como fossas com drenos e latrinas melhoradas. No entanto, em estâncias turísticas e algumas residências, são utilizadas fossas sépticas (Boletim da República, 2021).

6. METODOLOGIA

6.1. MATERIAIS

Equipamentos e ferramentas

- ✓ 1 Pá;
- ✓ 1 Espátula;
- ✓ 2 Bandejas plásticas;
- ✓ 5 Pincéis;
- ✓ 2l de Álcool a 70% de concentração;
- ✓ 1 GPS;
- ✓ 1 Fita métrica de 100 metros;
- ✓ 1 Corda de 30 metros;
- ✓ 135 Copos descartáveis;
- ✓ 500 ml de detergente líquido;
- ✓ 135 Etiqueta;
- ✓ 135 Frascos de 250 ml;
- ✓ 1 Lápis;
- ✓ 1 Bloco de nota;
- ✓ 1 Marcador permanente;
- ✓ 18 Plástico de polietileno.

Os dados referentes a indicadores físicos-químico e biológicos do solo foram colectados no campo no Parque Nacional de Maputo pela autora (Anexos 1 a 3).

6.2. MÉTODO

6.2.1. Amostras de campo

Os dados foram colectados no Parque Nacional de Maputo durante a estação seca, entre os dias 01 a 15 de Outubro de 2021. A colecta foi realizada em três níveis de frequência de queimadas (alta, média e baixa), utilizando 9 quadrículas independentes e 27 transectos, conforme ilustrado na Figura 2. Cada ponto de amostragem foi devidamente georreferenciado com o auxílio de um GPS.

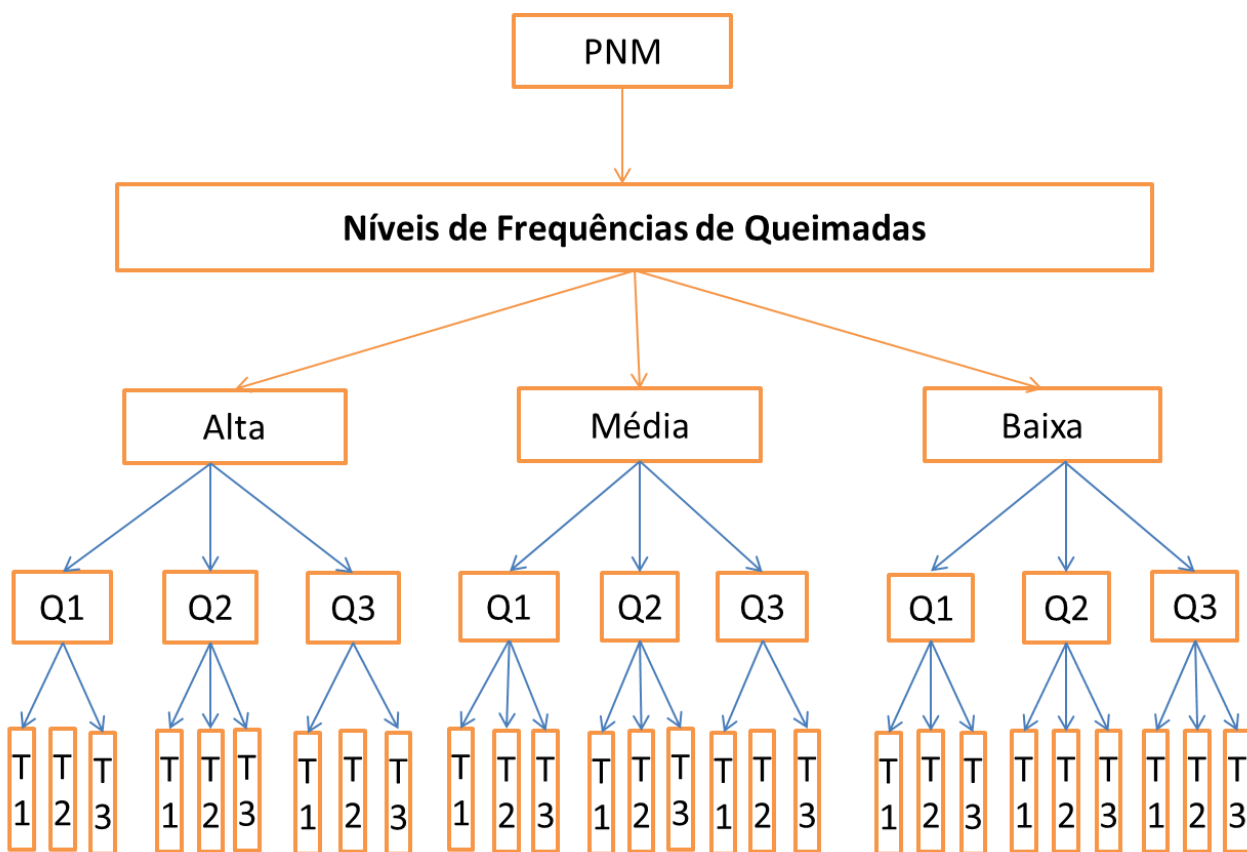


Figura 2. Desenho Experimental.

Fonte: Adaptada pela autora, 20221.

Onde: **PNAM** (Parque Nacional de Maputo); **Q** (Quadrículas); **T** (Transectos).

Para selecção dos níveis de frequência de queimadas no Parque Nacional de Maputo, foi utilizado o critério de acessibilidade, em que, as áreas indicadas como de baixa frequência, são aquela que há mais de vinte anos não ocorrem queimadas, as áreas de média frequência, correspondem onde tem-se verificado queimada de dez em dez anos e, as áreas de alta

frequência, são aquelas onde têm ocorrido queimadas anualmente. Para cada nível de frequência de queimadas foi feita uma breve descrição da cobertura vegetal e tipo de habitat.

6.2.2. Procedimentos de colecta das amostras de Macrofauna e amostra de solo

Foram retiradas amostras de solo para determinação dos indicadores físicos (Textura), químicos (Fósforo, Sódio, Potássio, Cálcio, Carbono, Matéria Orgânica, pH em água, pH em Cloreto de Potássio e Condutividade Eléctrica) e diversidade de macrofauna para determinação de indicadores biológicos, sendo este recomendados para a avaliação do estado da conservação do solo por ser sensíveis às mudanças relacionadas a distúrbio (Lozada, 2015).

A selecção da amostra, baseou-se em amostragem probabilística estratificada sistemática através de montagem de armadilhas "*Pitfalls*¹" e abertura de horizontes de solos para a retirada de amostras simples do solo para formar amostras compostas pelo método de quadrícula e transecto.

6.2.3. Amostras de Macrofauna

Montou-se 135 armadilhas *Pitfalls*¹ distribuídas em 45 para cada nível de frequência de queimadas (baixo, médio e alto). Para cada nível de frequência de queimadas foram feitas três quadrículas independentes de 30 m x 30 m, onde em cada quadrícula foram feitos três transectos separados por uma distância de 10m. Ao longo de cada transectos foram colocados cinco pontos de armadilhas "*Pitfalls*" separados a uma distância de 5m, como ilustra a figura 3.

¹ Consiste em um equipamento construído de materiais convencionais e enterrado no solo de tal forma que a borda superior fique no mesmo nível do solo (Almeida *et all*, 2003).

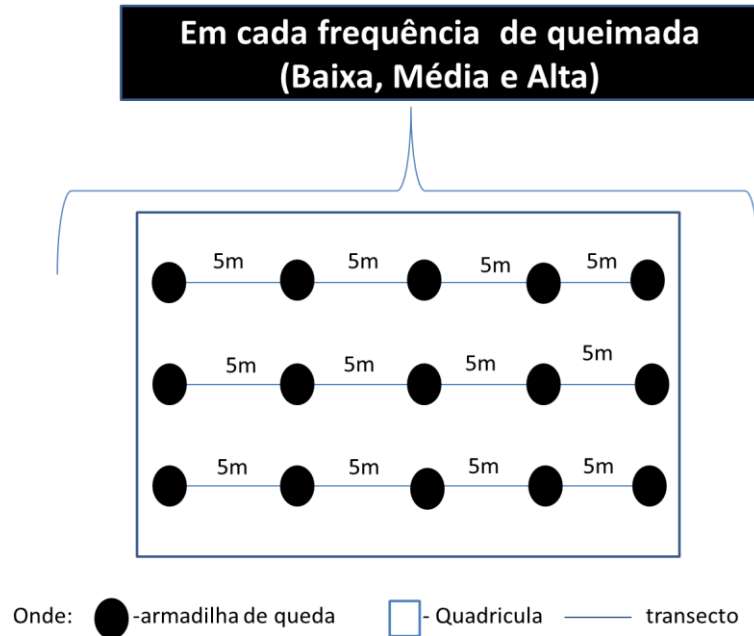


Figura 3. Disposição de Armadilhas Pitfall¹ ao longo dos Transectos.

Fonte: Adaptada pela autora, 2022

As armadilhas foram feitas de copos descartáveis de 350 ml. Com a aplicação do mesmo diâmetro e tamanho para garantir a eficiência na captura dos organismos. A implantação das armadilhas, foi feita com o auxílio de uma espátula de mão para abrir um buraco com largura e profundidade ideal, e o copo foi enterrado até que a borda ficasse nivelada com a superfície do solo. Foi adicionada uma solução composta por 250 ml de água e detergente líquido, que ajudou a quebrar a tensão da água e ao mesmo tempo impedir a fuga dos organismos capturados. As armadilhas foram deixadas no campo por um período de 48 horas para posterior colecta.

6.2.3.1. Colecta de amostras de macrofauna

A colecta foi realizada em intervalos de dois dias para assegurar a preservação dos organismos capturados, prevenindo a deterioração ou a perda de características estruturais que poderiam comprometer sua identificação no laboratório. Em cada armadilha, os organismos foram removidos usando uma pinça para organismos maiores de aproximadamente (> 2,0 mm) de tamanho e um pincel para organismos menores de aproximadamente (<0,2 mm) respectivamente. Em seguida, foram transferidos para frascos de 50 ml contendo álcool a 70% e etiquetados com os códigos Qn, Tn e An (onde: **Qn** - Quadrícula; **Tn** - Transecto e **An** - Armadilha). As amostras foram transportadas para o Laboratório de Entomologia do

Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Eduardo Mondlane, onde foram triadas e identificadas.

6.2.3.2. Triagem de amostra de macrofauna

A identificação foi feita entre os dias 19 de Outubro a 05 de Novembro de 2021, onde os organismos foram depositados na placa de Petri e levados para observação numa Lupa binocular de mesa de marca OLYMPUS com resolução binocular 100x com objectiva de 2x nesse processo, foi possível observar todas as características dos organismos de modo a aferir a classe a taxonómica e a ordem. Para organismos de difícil identificação, recorreu-se ao manual de identificação disponível no laboratório de Entomologia da Universidade Eduardo Mondlane do Departamento de Ciências Biológicas.

6.2.3.3. Colecta de amostras de solos

Para cada nível de frequência de queimadas (Alta, médio e baixa), foram colectadas seis amostras de solo, sendo duas amostras por quadrícula, totalizando dezoito amostras. Foram colectadas amostras em dois horizontes distintos: Horizonte A, que representa o solo superficial, com uma camada de 0,0 a 20 cm de profundidade, excluindo o húmus, e Horizonte C, que representa o subsolo, com uma camada de 20 a 50 cm de profundidade.

Para cada quadrícula, foi realizado um transecto de 15 m até o centro da quadrícula, onde foram registadas as coordenadas utilizando um GPS. Em seguida, foram marcados quatro pontos de colecta de amostras de solo: Ponto 01, Ponto 02 (localizado a uma distância de 12,2 m do Ponto 01), Ponto 03 e Ponto 04 (marcados a partir do Ponto central, respeitando uma parcela circular de aproximadamente 100 m²). A disposição dos pontos de colecta de amostras de solo está ilustrada na Figura 4.

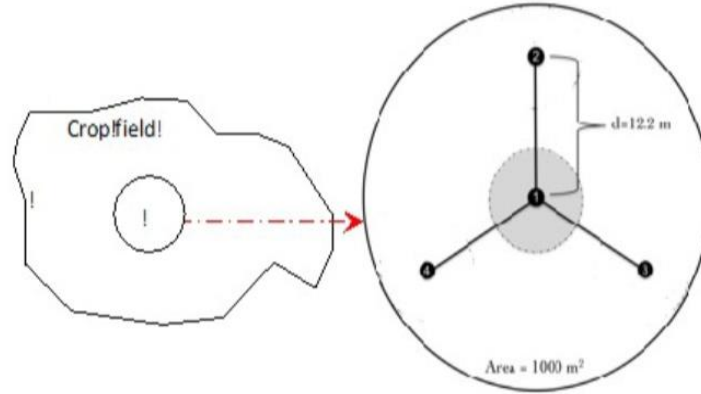


Figura 4. Disposição de pontos de colecta de amostras de solos

Fonte: Aynekulo *et al* (2016)

Em cada camada de 0 a 20 cm e de 20 a 50 cm dos diferentes pontos de colecta, foram retiradas quatro sub-amostras. As sub-amostras das duas profundidades foram adicionadas em bandejas plásticas separadas, onde foram homogeneizadas para obter amostras compostas de aproximadamente 1 kg. Em seguida foram acondicionadas em sacos plásticos de polietileno devidamente codificados com marcador permanente. As amostras foram então conduzidas ao laboratório de solos da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane para as respectivas análises.

6.2.4. Análise laboratorial de amostras de solos

As análises foram feitas entre os dias 03 de Março a 04 de Junho de 2022. Antes de prosseguir com as respectivas análises, as amostras foram submetidas a um pré-tratamento onde colocou-se em caixas de alumínio e levou-se a secagem por 48 horas em uma estufa a 80°C e em seguida passou-se por um crivo de 2mm.

Análises Químicas (Fósforo, Sódio, Potássio, Cálcio, Carbono, Matéria Orgânica, pH em água, pH em Cloreto de Potássio e Condutividade Eléctrica) e Físicas (textura) foram realizadas no laboratório de solos da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane, onde seguiu-se os métodos ilustrados na tabela 1.

Tabela 1. Métodos laboratoriais usados para determinação de indicadores Físico químicos do solo.

Indicadores	Método	Extractores	Referência
pHH ₂ O (1:2.5)	Método padrão-pHmetro	Solução solo: água de (1: 2)	Westerhout e Bovee (1985).
pHKCl (1:2.5)	Método padrão-pHmetro	Solução solo: cloreto de potássio de (1: 2)	Westerhout e Bovee (1985).
CE (mS/cm) 1:2.5	Método padrão – Condutivímetro	Solução solo: água de (1: 2)	Westerhout e Bovee (1985).
P (mg/kg)	Mehlich-3	Solução de ácido acético, acetato de amônio, cloreto de amônio, EDTA e ácido nítrico	Westerhout e Bovee (1985).
Na ⁺ (meq/100g)	Mehlich-3	Solução de ácido acético, acetato de amônio, cloreto de amônio, EDTA e ácido nítrico	Westerhout e Bovee (1985).
K ⁺ (meq/100g)	Mehlich-3	Ácido acético, acetato de amônio, cloreto de amônio, EDTA, ácido nítrico	Westerhout e Bovee. (1985).
Ca ⁺ (meq/100g)	Complexometria	Solução de Acetato de amônia	Westerhout e Bovee (1985).
MO (%)	Walkley e Black	Digestão húmida com dicromato de potássio e ácido sulfúrico	Westerhout e Bovee (1985).
CO (%)	Walkley e Black	Digestão húmida com dicromato de potássio e ácido sulfúrico	Westerhout e Bovee (1985).
Textura (% Areia, % Argila e % Limo)	Pipeta de Robson	Dispersor Hexametáfosfato de sódio	Westerhout e Bovee (1985).

Fonte: Westerhout e Bovee (1895).

6.3. Análise dos dados

Para determinar os indicadores físico-químicos de qualidade de solo em três níveis de frequência de queimadas, os dados dos parâmetros físico-químicos da qualidade do solo, pH H₂O (1:2,5), pH KCl (1:2,5), CE (Condutividade Elétrica em mS/cm 1:2,5), P (Fósforo em mg/kg), Na (Sódio em meq/100g), K (Potássio em meq/100g), %CO (Carbono Orgânico), %MO

(Matéria Orgânica), % areia, % Argila e % Limo, foram compilados e organizados por cada nível de frequência (baixo, médio e alto) no *Microsoft Excel*.

Para determinar os indicadores biológicos de qualidade de solo em três níveis de frequência de queimadas foi estimado a abundância e diversidade da macrofauna do solo em cada nível de frequência de queimadas (baixa, média e alta). A abundância foi estimada através da densidade de organismo por área conforme a fórmula abaixo:

$$\text{Densidade (organismos/m}^2\text{)} = \text{Total de organismos} / \text{Área da amostra.}$$

Onde: Área da amostra corresponde a quantidade de amostra por cada nível de frequência (30 m x 30 m = 600 m²),

Total de organismos corresponde a soma dos totais de todos os grupos taxonômicos após a contagem do somatório de indivíduos de cada grupo taxonômico nas três quadrículas

Para estimar a diversidade da macrofauna do solo foi usado o índice de diversidade de Shannon (H') com auxílio do pacote *Ecological Methodology* versão 7.4 (Krebs, 1999).

$$\text{Formula } H' = -\sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln p_i$$

Onde: p_i = abundância relativa (proporção) da espécie i na amostra;

$p_i = n_i/N$ n_i = número de indivíduos da espécie i ;

N = número de indivíduos total da amostra

Para saber o quão distinto ou similares são os diferentes gradientes ou níveis de frequências de queimadas em termos de composição da macrofauna foi usada índices de similaridade de Jaccard e Sorensen, com o auxílio do *software Ecological Methodology versão 7.4* (Krebs, 1999).). Eles abordam o nível de semelhança das espécies entre duas áreas distintas trazendo uma comparação deste indicador biológico em diferentes gradientes de queimadas.

6.3.1. Análise estatística

Todos os dados coletados (físico-químicos e biológicos) foram submetidos a análises estatísticas utilizando o *software* "Statistica" versão 8.0.

Para comparar indicadores físico-químico de qualidade do solo nos três níveis de frequência de queimada (alta, média e baixa) foi aplicada a Análise de Variância (ANOVA) a 5% de nível significância para mais de dois grupos. Entretanto, em alguns casos, como nos parâmetros de P (mg/kg) Na (meq/100g), K (meq/100g) e % area os pressupostos de normalidade do Teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância não foram satisfeitos ao comparar as médias dos parâmetros físico-químicos de qualidade do solo (variáveis dependentes) e diferentes níveis de frequência de queimada (variáveis independentes). Portanto, o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis a 5% de significância foi aplicado. Além disso, o teste de Tukey HSD foi empregado para a variável pH H₂O para verificar em que áreas foram constatadas as diferenças significativas entre os níveis de frequências de queimadas.

Para aferir possíveis diferenças significativas da qualidade biológica do solo nos três níveis de frequências de queimadas (alta, média e baixa) também foi aplicada a Análise de Variância (ANOVA) a 5% de significância para mais de dois grupos após os dados de abundância de macrofauna cumprirem com os pressupostos de normalidade (Teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias (Teste de Levene) a 5% de significância. O teste de Friedman ANOVA foi também usado para comparar os valores médios de números de indivíduos dos grupos taxonômicos de macrofauna entre diferentes frequências de queimadas, com base em medidas repetidas ou emparelhadas.

7. RESULTADOS

7.1. Indicadores físicos-químicos de qualidade de solo

Os solos de áreas com alta e média frequência de queimadas apresentaram valores de pH mais elevados em comparação com as áreas de baixa frequência. Tanto o pH em H₂O quanto o pH em cloreto de potássio (KCl) foram mais altos nas áreas com maior frequência de queimadas. A condutividade elétrica (CE) apresentou valores baixos e semelhantes em todas as áreas de queimadas, com uma variação mínima. O fósforo (P) registou concentrações mais elevadas nas áreas de frequência média, o que pode estar relacionado a uma maior mineralização ou disponibilidade de nutrientes resultantes das queimadas no PNAM.

Os valores de sódio (Na) permaneceram constantes entre as áreas de queimada, enquanto o potássio (K) foi ligeiramente maior nas áreas de frequência média. Os teores de carbono orgânico (%) e matéria orgânica (%) foram menores nas áreas de frequência média. A composição textural do solo (argila, limo e areia) manteve-se relativamente estável, com predominância de areia em todas as categorias.

Embora os parâmetros físico-químicos do solo tenham apresentado variações em resposta à frequência de queimadas, o pH em água (pH H₂O) foi o único parâmetro que demonstrou diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes níveis de frequência de queimadas (ANOVA, $F = 42,7$; $p < 0,05$) (Tabela 2). A análise de comparação múltipla de Tukey HSD indicou que essas diferenças ocorreram entre os habitats de alta e baixa frequência de queimadas (Anexo 7).

Tabela 2. Resultados estatísticos dos parâmetros físicos-químicos da qualidade do solo nos níveis de frequências de queimada (alta, media e baixa).

Parâmetros físicos-químicos	Áreas de queimadas			F	p-value (0.05)
	Baixa	Média	Alta		
pH _{H₂O} (1:2.5)	5.5	6.3	6,53	42.743	0.00*
pH _{KCL} (1:2.5)	5.0	5.5	5.4	1.6386	0.22
CE (mS/cm) 1:2.5	0.0052	0.0055	0.0054	1.6386	0.22
P (mg/kg)	4.2	7.0	2.9	3.500	0.17
Na (meq/ 100g)	0.321	0.323	0.321	2,782	0.24
K (meq/100g)	0.16	0.2	0.15	4,831	0.08
%CO	0.59	0.52	0.70	0.6469	0.53
%MO	1.01	0.90	1.21	0.6469	0.53
% Área	92.7	91.6	93.6	1.1557	0.34

% Argila	6.26	5.75	4.89	0.5832	0.57
%Limo	1.09	2.67	1.51	2.5753	0.10

7.2. Indicadores biológicos de qualidade do solo

7.2.1. Similaridades entre áreas de queimadas

A análise dos níveis de frequência de queimada revelou algumas variações na contagem da macrofauna do solo entre os taxonômicos. A ordem mais abundante foi Hymenoptera (Tabela 5). Em contraste, a ordem Blatoptera apresentou uma contagem baixa, com apenas um indivíduo na frequência de queimada alta e nenhuma ocorrência nas frequências baixa e média.

Tabela 3. Número de indivíduos dos grupos taxonômicos de macrofauna em diferentes níveis de Frequência de queimada.

Ordens	Níveis de Frequência de queimada		
	Baixa	Media	Alta
Acarina	18	8	7
Aracnida	20	20	28
Blatoptera	0	1	1
Coleoptera	53	30	40
Diplopode	1	2	2
Diptera	29	31	6
Hemiptera	11	2	9
Hymenoptera	454	761	254
Isoptera	1	4	21
Orthoptera	1	8	5
Quilopode	1	2	0
Strepsiptera	1	0	0
Total Geral	590	869	373

A análise de similaridade de Sorensen indicou que os habitats com níveis de frequência “Media-Alta” demonstra 96% de similaridade (Tabela 4). Além disso, esses habitats também demonstraram similaridade em relação à distribuição de ordens semelhantes, considerando o número de indivíduos de cada ordem, com 92% de similaridade conforme indica o índice de Jaccard. Esses resultados indicam que os níveis de frequência de queimada média e alta

compartilham características semelhantes em termos da composição e abundância da macrofauna do solo.

Tabela 4. Análise de similaridades entre os diferentes habitats.

Níveis de Frequência de Queimadas (Habitats)	Índices de Similaridades	
	Índice de Jaccard (Cj)	Índice de Sorensen (Cs)
Baixa- Media	0.85	0.92
Baixa-Alta	0.80	0.89
Media-Alta	0.92	0.96

7.2.2. Abundância de macrofauna do solo

Os solos de áreas com alta frequência de queimadas apresentaram maior abundância de macrofauna do solo em comparação com os demais níveis de frequência de queimadas (Figura 5). A maior densidade observada foi de aproximadamente 0,97 indivíduos/m² na área de estudo. Esses resultados sugerem que áreas com maior gradiente de queimadas oferecem condições mais favoráveis para a abundância de macrofauna do solo, em contraste com áreas de gradientes baixo e intermediário de queimadas.

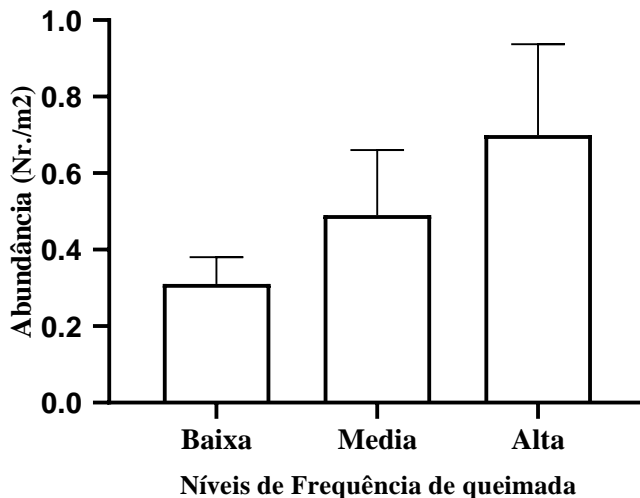


Figura 5. Abundância média de macrofauna em diferentes níveis de frequência de queimadas.

Embora esses resultados sugiram que o nível de frequência de queimadas altas apresentou maior abundância da macrofauna do solo, a análise estatística revelou que tais abundâncias não são estatisticamente significativas (ANOVA, $F=3.38$, $p> 0.05$) (Tabela 5).

Tabela 5. Valores médios de abundância de macrofauna em diferentes níveis de queimadas.

Indicadores biológicos do solo (Abundância)	Áreas de frequências de queimadas				
	Baixa	Media	Alta	F	p-value
Abundância (organismos/m ²)	0,311	0,492	0,724	3.3896	0.1034

7.2.3. Diversidade de macrofauna do solo

Os índices de diversidade de Shannon e Simpson, calculados para os grupos taxonômicos da macrofauna do solo, indicam que a maior diversidade foi encontrado nas áreas de níveis de frequência baixa de queimadas. A diminuição de diversidade de macrofauna do solo em função do aumento da frequência de queimada foi verificada tanto no índice de Shannon ($H = 1.73 \pm 0.58$) quanto o índice de Simpson ($1-D = 0.52 \pm 0.18$), conforme detalhado na Figura 6, indicando uma maior diversidade da macrofauna do solo em relação ao número de indivíduos e riqueza de grupos taxonômicos identificados nas amostras de baixo nível de frequência de queimada.

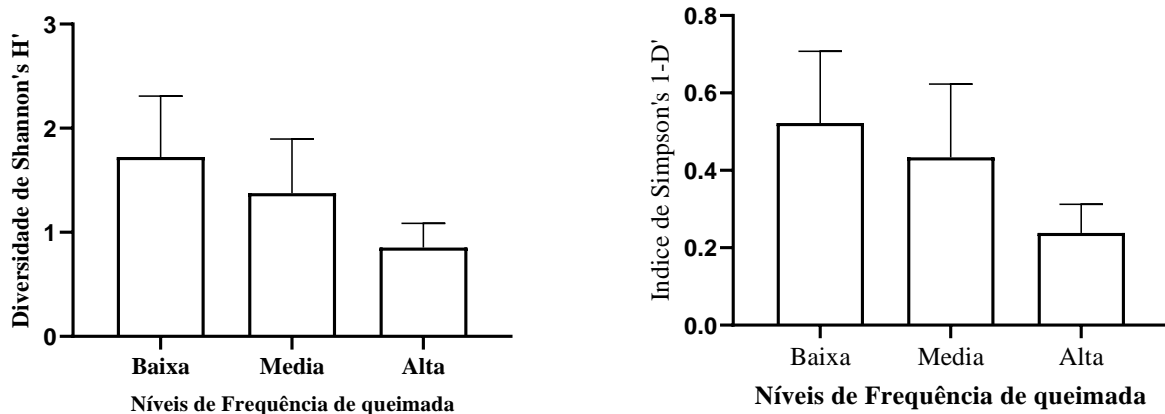


Figura 6. Diversidade de macrofauna do solo em diferentes níveis de frequência de queimadas (baixa, média e alta) do PNAM.

Embora esses resultados sugiram que a diversidade da macrofauna do solo foi influenciada pela frequência de queimadas, com uma maior pronúncia nas quadrículas com frequência baixa de queimadas, é importante observar que essas diferenças nos índices de diversidade de Shannon e Simpson não possuem diferenças estatisticamente significativas, conforme demonstrado na análise estatística apresentada na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados de análise estatística dos parâmetros de diversidade de macrofauna em diferentes níveis de queimadas no PNAM.

Indicadores biológicos do solo (Diversidade)	Áreas de frequências de queimadas				
	Baixa	Media	Alta	F	p-value
Índice de diversidade de Shannon	1,723	1,375	0,854	1.7160	0.2574
Índice de diversidade de Simpson	0,522	0,434	0,238	1.6750	0.2642

8. DISCUSSÃO

8.1. Determinação dos Indicadores físicos-químicos do solo

O pH em água (pH_{H2O}) e o pH em cloreto de potássio (pH_{KCL}) apresentaram acidez ou alcalinidade do solo em diferentes níveis de frequência de queimadas. As variações observadas nas médias dessas variáveis podem indicar alterações na química do solo devido às queimadas. Araújo *et al.*, 2012). Segundo Silva *et al.* (2020), desencadeia este facto ao afirmar que solos com acides geralmente apresentam baixos teores de cálcio, magnésio e deficiência de alguns micronutrientes. Por outro lado, estudos como os de Rinklebe *et al.* (2017) e Agbeshie *et al.* (2022), discutem como as queimadas podem afectar o pH do solo, resultando em mudanças na disponibilidade de nutrientes e na actividade microbiana. Neste estudo indicam que os níveis de baixa frequência de queimadas mostram um aumento na acidez do solo, o que também foi verificado nos resultados deste estudo. Além disso, observou-se uma maior disponibilidade de matéria orgânica (%MO) em habitats de alta frequência de queimadas. Nessas áreas, os valores de pH em água (H₂O) e o pH em cloreto de potássio (KCl) tendem a se aproximar da neutralidade, conforme demonstrado pelos resultados do presente estudo.

Esses resultados sugerem que, a presença de uma maior quantidade de matéria orgânica (%MO) nos habitats de alta frequência de queimadas pode contribuir para o aumento da disponibilidade de nutrientes e a manutenção de um pH mais neutro (Ronquim, 2010). A

presença de matéria orgânica pode auxiliar na retenção de nutrientes, na melhoria da estrutura do solo e na regulação do pH, contrabalançando potenciais efeitos acidificantes causados pela queima (Signor *et al.*, 2016). No entanto, é importante ressaltar que a interação complexa entre a queima de matéria orgânica, a disponibilidade de nutrientes e o pH do solo pode variar dependendo de outros factores, como o tipo de vegetação, as propriedades do solo e as condições ambientais específicas.

Os resultados apresentam valores elevados de CE nas frequências altas e médias de queimadas. Segundo a pesquisa de Lal *et al.* (2015) essas variações nas médias de CE podem indicar diferenças na salinidade ou disponibilidade de nutrientes do solo após as queimadas. Estudos como o de Singh *et al.* (2018), discutem os efeitos das queimadas na condutividade eléctrica do solo, sugerindo uma maior disponibilidade de nutrientes na superfície do solo devido à queima da vegetação.

P (Fósforo), Na (Sódio) e K (Potássio) são variáveis que representam a disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas. Diferenças nas médias desses nutrientes podem indicar alterações na ciclagem de nutrientes do solo após as queimadas. A diminuição do teor de fósforo e potássio nos níveis de frequências altas pode sugerir sua indisponibilidade e os potenciais efeitos negativos das queimadas de alta intensidade sobre os solos do Parque Nacional de Maputo (PNAM) (Tabela 3). Estes resultados são consistentes com estudo anterior de Chen *et al.* (2020), que discutem como as queimadas afectam a disponibilidade de nutrientes no solo devido à volatilização e perda de nutrientes essenciais, como nitrogénio, fósforo e potássio do solo. Por outro lado, Redin *et al.* (2011), enfatiza que calor intenso gerado pelas queimadas pode converter esses nutrientes em formas voláteis que são liberadas na atmosfera, diminuindo assim a disponibilidade de nutrientes no solo.

O aumento do teor de areia (de 93.6% para 94.89%) e a diminuição do teor de argila (de 6.26% para 4.89%) nas áreas de níveis de frequência baixa para alta de queimadas sugerem que as queimadas podem ter alterado a estrutura física do solo, resultando em compactação e perda de porosidade (Chen *et al.* 2020). Este facto, pode afectar a infiltração de água e a disponibilidade de oxigénio, comprometendo a absorção de nutrientes pelas plantas (Chen *et al.* 2020).

Essa hipótese é reforçada pelo aumento do teor de carbono orgânico (%CO), que aumentou dos níveis baixos de 0.52% para 0.7% nas áreas de níveis altos de queimadas. O aumento do teor de carbono orgânico pode ser indicativo de uma maior acumulação de matéria orgânica no solo após as queimadas, o que pode estar relacionado à diminuição da actividade microbiana de decomposição devido à possível perda de porosidade e aeração do solo (Certini, 2005).

Os resultados das médias dos indicadores físico-químicos do solo nos três níveis de frequência de queimada (Tabela 2) evidenciam que a frequência de queimada exerce influência nos indicadores físico-químicos da qualidade do solo no Parque Nacional de Maputo. Mesmo sem haver diferenças estatisticamente significativas entre os parâmetros analisados. Segundo o estudo de Massuque, (2023) as diferenças observadas nas médias podem ter implicações para a compreensão da dinâmica do solo e para o planeamento de práticas de manejo adequadas, visando à conservação e à sustentabilidade dos ecossistemas presentes na área de estudo.

Os resultados deste estudo revelam padrões distintos na abundância e diversidade da macrofauna do solo em relação à frequência de queimadas. As áreas com alta frequência de queimadas apresentaram uma maior abundância de macrofauna, enquanto a diversidade foi mais elevada em áreas com baixa frequência de queimadas (Figura 5 e 6).

A alta abundância de macrofauna em áreas com queimadas frequentes pode ser explicada pela presença de espécies oportunistas e resilientes que se adaptam rapidamente a condições de distúrbio frequente. Segundo Decaëns *et al.* (2008), distúrbios como queimadas podem favorecer grupos funcionais específicos, como minhocas e formigas, que desempenham papéis cruciais na ciclagem de nutrientes e na estruturação do solo. Esse aumento na abundância pode estar relacionado à maior disponibilidade de matéria orgânica facilmente decomponível após as queimadas, que serve como recurso para essas espécies (Lavelle *et al.*, 1997).

Por outro lado, a maior diversidade observada nas áreas com baixa frequência de queimadas está alinhada com a Hipótese do Distúrbio Intermediário. Essa teoria postula que níveis moderados de distúrbio promovem a coexistência de espécies competitivas e tolerantes, resultando em uma maior diversidade de espécies (Roxburgh *et al.*, 2004). Áreas com baixa frequência de queimadas permitem a recuperação gradual do solo e o restabelecimento de comunidades biológicas diversificadas, como destacado por Bengtsson *et al.* (2000), que

ênfatizam que intervalos mais longos entre distúrbios favorecem uma maior complexidade ecológica.

A diferença entre abundância e diversidade nas áreas analisadas reforça a ideia de que queimadas frequentes, embora promovam a abundância de algumas espécies, podem limitar a diversidade ao favorecer um pequeno número de espécies adaptadas ao distúrbio. Em contraste, queimadas esporádicas criam condições para uma comunidade mais diversa, mantendo o equilíbrio entre diferentes grupos funcionais (Sousa, 1984).

8.2. Comparação de indicadores físicos-químicos de qualidade do solo três níveis de frequência de queimada do PNAM

Os resultados da análise comparativa dos indicadores físico-químicos do solo revelaram diferenças estatísticas significativas apenas para o parâmetro pH em água (pH H₂O) (ANOVA, F = 42.74, p < 0.05) entre os níveis de frequência de queimadas avaliados. Não foram observadas diferenças significativas nos demais parâmetros do solo, incluindo pH em cloreto de potássio (pH KCl), condutividade elétrica (CE) (mS/cm), fósforo (P(mg/kg)), sódio (Na(meq/100g)), potássio (K(meq/100g)), percentagem de carbono orgânico (%CO), percentagem de matéria orgânica (%MO), percentagem de areia (% Areia), percentagem de argila (% Argila) e percentagem de limo (% Limo) (todos p > 0.05).

Chen *et al.* (2020), desencadeia a importância do pH em água como um indicador sensível às alterações decorrentes da frequência de queimada, sugerindo possíveis implicações para a qualidade e funcionalidade do solo. Não obstante, Pesquisas futuras devem explorar mais a fundo os efeitos dessa diferença significativa no pH em água e sua relação com outros processos e propriedades do solo.

8.3. Comparação de indicador biológico de qualidade do solo em três níveis de frequência de queimada do PNAM

Apesar de não se terem verificado diferenças estatisticamente significativas nos valores de abundância e diversidade da macrofauna do solo em relação aos três níveis de frequência de queimada no Parque Nacional de Maputo. Os resultados demonstraram um aumento na abundância da macrofauna do solo conforme ocorria um aumento nos níveis de frequência de queimada, indo de baixa a alta. Observou-se um incremento gradual na abundância à medida que os níveis de frequência de queimada aumentavam sequencialmente. Esses dados sugerem uma

relação positiva entre a frequência de queimada e a abundância da macrofauna do solo, indicando que a ocorrência mais frequente de queimadas está associada a um aumento na quantidade de organismos presentes nesse ambiente.

Os estudos de Woodcock, (2012) examina o efeito das queimadas no solo e na macrofauna em áreas de conservação. Seus resultados sugerem que a resposta da macrofauna às queimadas depende da intensidade, frequência e histórico do fogo, bem como das características específicas do habitat. Esse resultado tem implicações importantes para a compreensão dos efeitos das queimadas no ecossistema do solo e destaca a necessidade de considerar a influência da frequência de queimada na comunidade de macrofauna.

O aumento da frequência de queimadas também foi observado nos resultados dos índices de diversidade de Shannon (H') e Simpson, indicando uma maior diversidade da macrofauna do solo em relação ao número de indivíduos e à riqueza de macrofauna. Embora não tenham sido verificadas diferenças estatisticamente significativas entre os parâmetros da diversidade e os níveis de frequência de queimadas, é notável que a maior diversidade foi encontrada no nível de frequência de queimada baixa (Figura 6). Isso sugere que a maior frequência de queimada tem efeito negativo na diversidade da macrofauna do solo, com o nível de frequência de queimada baixa proporcionando condições ideais para a presença de uma variedade de espécies e grupos taxonômicos.

Esses resultados sobre o impacto positivo da queimada na abundância de macrofauna também foram estudados por Baldwin (1996). Em seu artigo intitulado "*Biodiversity and Conservation of Soil Animals*" (1996), Baldwin argumenta que uma frequência adequada de distúrbios, como as queimadas controladas, pode promover a diversidade e a abundância da macrofauna do solo, enquanto níveis extremos ou falta de distúrbios podem levar a reduções na diversidade. Portanto, esses resultados indicam a importância de considerar não apenas a abundância, mas também a diversidade da macrofauna do solo ao avaliar os impactos das queimadas, ressaltando a necessidade de estratégias de manejo que levem em conta esses padrões de diversidade.

Apesar de não terem sido encontradas diferenças estatisticamente significativas nos valores de abundância e diversidade da macrofauna do solo nos três níveis de frequência de queimadas no Parque Nacional de Maputo, as variações observadas nos dados deste estudo corroboram com

Woodcock (2012), que revisa uma variedade de estudos e relata que a frequência de queimadas pode ter implicações na abundância e diversidade da macrofauna do solo.

Esses resultados também sugerem que outros factores além da frequência de queimada podem ser impulsionadores da abundância e diversidade da macrofauna nos níveis elevados de frequência de queimada no Parque Nacional de Maputo. Portanto, existe a necessidade de estratégias de manejo que levem em consideração os padrões de diversidade e o fogo.

Os resultados da análise de similaridade demonstraram que os habitats com níveis de frequência média e alta apresentaram uma alta similaridade em relação à presença dos grupos taxonômicos da macrofauna (similaridade acima de 96%). Esses índices de similaridade, como o Índice de Jaccard e o Índice de Sorensen, são métricas utilizadas para comparar a similaridade entre diferentes comunidades biológicas. Os resultados indicam que os habitats com níveis de frequência média e alta possuem uma alta similaridade entre si, sugerindo que os níveis de frequência de queimada podem ter influências semelhantes na composição e estrutura da macrofauna do solo.

Essa observação é relevante para a compreensão dos efeitos das queimadas e para o manejo adequado dessas áreas em termos de conservação da biodiversidade. Bond *et al.* (2005) abordam em seus estudos sobre incêndios florestais e ecologia de comunidades que os incêndios podem alterar significativamente a estrutura e composição das comunidades de plantas e da macrofauna do solo. Por outro lado, Keeley *et al.* (2012) demonstraram que os incêndios podem resultar em mudanças substanciais na estrutura e composição da vegetação, influenciando a disponibilidade de recursos e as interações entre as espécies da macrofauna do solo. Isso pode explicar a maior similaridade dos habitats que sofreram distúrbios médios e altos de queimadas em termos de abundância de macrofauna do solo.

9. CONCLUSÃO

Os resultados dos indicadores de qualidade de solo do PNAM mostraram que os diferentes níveis de frequência de queimada não apresentaram diferenças significativas nos parâmetros avaliados (com exceção de pH H₂O), como pH KCL, CE, P, Na, K, %CO, %MO, % Argila, % Limo e % Areia. Os valores médios para esses parâmetros foram semelhantes entre as áreas com níveis de frequência de queimada alta, média e baixa, indicando uma relativa estabilidade da qualidade do solo em relação a essas variáveis.

Em relação a indicadores biológicos do solo, os resultados deste estudo sugerem que a frequência de queimada pode ter algum impacto na abundância e diversidade da macrofauna do solo, embora esse impacto não tenha sido estatisticamente significativo. Foi observado maior abundância da macrofauna do solo nas áreas de níveis de frequência alta de queimada.

No entanto, em contraste com os resultados de abundância, os valores do índice de diversidade de Shannon H' e Simpson mostraram um aumento na diversidade da macrofauna do solo em relação ao número de indivíduos e à riqueza de espécies nos níveis de frequência de queimada baixa. Essa discrepância pode indicar que, embora a frequência de queimada possa afectar a abundância da macrofauna do solo, ela pode ter efeitos mais sutis sobre a diversidade da comunidade em áreas de frequência baixa de queimada, proporcionando condições mais favoráveis para uma maior diversidade de espécies.

Contudo, os resultados desta pesquisa indicam que, apesar do aparente efeito das queimadas, não foi identificado, no período analisado, nenhum impacto significativo da frequência de queimadas sobre indicadores de qualidade físico-química e biológica do solo no Parque Nacional de Maputo. As queimadas ocorridas nesse período afectaram o pH em H₂O, que apresentou valores mais alcalinos nas áreas com alta frequência de queimadas.

10. LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

10.1. Limitações

- ✓ Tamanho restrito da amostra para cada nível de frequência de queimada. Isso resultou em uma limitação na robustez da análise estatística, já que um número maior de amostras teria proporcionado uma base mais sólida para as conclusões estatísticas;
- ✓ Não foi possível explorar outros factores como histórico de frequência das queimadas anteriores, bem como outras práticas de gestão de queimadas nos pontos de amostragem.

10.2. Recomendações

- ✓ Futuras pesquisas podem explorar outros factores, como características do solo, vegetação circundante e histórico de manejo, para melhor compreender os determinantes padrões de abundância e diversidade da macrofauna do solo nessa região.
- ✓ Estudo semelhante a este seja feito em um período pós-queimada para melhor perceber o efeito de queimada sobre os indicadores de qualidade de solo.
- ✓ Recomenda-se também que se faça estudos semelhantes em outros tipos de habitats do Parque Nacional de Maputo para comparar e inferir os possíveis erros amostrais

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Almeida, L., M. C. S. R. Ribeiro-Costa, L. Marinoni. (2003). Manual de Coleta, Conservação, Montagem e Identificação de Insectos. 88pp. Ribeirão Preto, Holos.
2. Araújo, A., Andrade, L., Moura, E., Moura, I., & Nóbrega, J. (2012). Avaliação da qualidade do solo: uma revisão. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 7 (5): 22-29.
3. Araújo, E. A., J. C. Ker, J. C. L. Neves & J. L. Lani (2012). *Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação*. Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias. Guarapuava-PR, 5 (1): 187-206.
4. Baldwin, A. H. (1996). Biodiversity and Conservation of Soil Animals. In: Benckiser, G. (Ed.). *Fauna in Soil Ecosystems: Recycling Processes, Nutrient Fluxes, and Agricultural Production*. CRC Press.
5. Bernardes, F. C. (2019). *Estudo do Impacto de Queimadas sobre Indicadores de Qualidade Do Solo em áreas de Cerrado*. Tese de Licenciatura 28pp. Uberlândia. Universidade Federal de Uberlândia,
6. Bengtsson, J., Nilsson, S. G., Franc, A., & Menozzi, P. (2000). Biodiversity, disturbances, ecosystem function and management of European forests. *Forest Ecology and Management*, 132 (1):39-50.
7. Bond, W.J., Keeley, J.E. (Eds.) (2005). Fire as a Global ‘Herbivore’: The Ecology and Evolution of Flammable Ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution* 20(7):387-94.
8. Camargo, F. F., (2016). *Indicadores Físicos, Químicos e Biológicos da Qualidade do Solo em Sistemas Agroflorestais Agroecológicos na área de preservação ambiental Serra da Mantiqueira, Mg*. Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Silvicultura e Genética Florestal, para a obtenção do título de Doutor. Lavras – MG. 242p.
9. Certini, G. (2005). "Effects of fire on properties of forest soils: a review". *Oecologia*, 143 (1): 1-10.

10. Chen, Z., Zhou, G., Zhang, D., Zhang, Q., & Chen, G. (2020). Effects of fire on nutrient dynamics in terrestrial ecosystems: A review. *Forest Ecology and Management*, 463, 118063.
11. Decaëns, T., Lavelle, P., Jiménez, J. J., Escobar, G., & Rippstein, G. (2008). Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia. *European Journal of Soil Biology*, 30 (4):157-168.
12. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, (2014). Prevenção de Queimadas - seja você também um defensor. Abio Design Lab Editor. 1ª Edição. Brasil.
13. FAO. (2007). Fire management Global assesement. Rome. Italy
14. Guimarães P. P., S. M. de Souza, N. C. Fiedler & A. G. da Silva (2014). Análise dos Impactos Ambientais de um Incêndio Florestal. Agrarian Academy, Centro Científico Conhecer - Goiânia, 1 (1):39-60.
15. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2007. Manual Técnico de Pedologia. 2ª Edição. Rio de Janeiro.
16. Instituto Nacional de Estatística (INE) (2020). IV Recenseamento Geral da População e Habitação 2017. Resultados Definitivos. Moçambique.214p.
17. Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. and Schuman, G.E. (1997) Soil Quality: A Concept, Definition and Framework for Evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, 61, 4-10.
18. Keeley, J.E., Bond, W.J., Bradstock, R.A., *et al.* (2012). *Fire in Mediterranean Ecosystems: Ecology, Evolution and Management*. Cambridge University Press.
19. Lal, R., W. Negassa e K. Lorenz (2015). Carbon sequestration in soil. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 15:79–86.
20. Lavelle, P., Bignell, D., & Lepage, M. (1997). Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology*, 33:159 – 193.
21. Lozada, C. M. C., (2015). *Índice de Qualidade do Solo para a Avaliação do Impacto de Diferentes Usos e Manejos e sua Aplicação em uma área rural de Planaltina (Df)*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 91pp.Brasília.
22. Lozada, E. (2015). *Qualidade do solo: conceitos, avaliação e manejo*. Universidade de São Paulo, "Luiz de Queiroz".

23. Massuque, S. (2023). *Contributo da Educação Ambiental no Combate às Queimadas Descontroladas no Parque Nacional de Maputo*. Monografia de Licenciatura. 53pp. Cidade de Maputo. Universidade Eduardo Mondlane.
24. Manhiça, A. M., E. A. Nhalevilo e S. C. Antunes, (2020). Reserva Especial de Maputo: Uma visão histórica e a sua importância na Conservação da Biodiversidade. *Revista de Ciência Elementar*. 8 (3): 1 – 10.
25. Maunze, C.R. (2016). *Análise Espacial e Temporal de Queimadas Usando Imagem Satélite na Reserva Nacional de Gile (de 2024 a 2014)*. Tese de Licenciatura 85pp. Maputo Universidade Eduardo Mondlane.
26. Melo, F. V. De; Brown, G. G.; Constantino, R.; Louzada, J. N.C.; Luizão, F. J.; Morais, J. W. De; Zanetti, R. A et al. (2009). A Importância da Meso e Macrofauna do Solo na Fertilidade e como bioindicadores. *Boletim Informativo da SBCS*.
27. MINISTÉRIO DA ADMINISTRAÇÃO ESTATAL, (2005). Perfil do Distrito de Matutuine, Província de Maputo. 59p
28. MINISTÉRIO PARA A COORDENAÇÃO DA ACÇÃO AMBIENTAL (2012). Projecto de Avaliação Ambiental Estratégica da Zona Costeira – Moçambique. Província de Maputo, Distrito de Matutuine. 130p.
29. MINISTÉRIO PARA A COORDENAÇÃO DA ACÇÃO AMBIENTAL, (2007). Plano de Acção para a Prevenção e Controlo às Queimadas Descontroladas 2008-2018. 53p.
30. Agbeshie, A. S., Abugre, T. Atta-Darkwa, R. Awuah1 (2022). A review of the effects of forest fire on soil properties. *Journal of Forestry Research* 33 (2):1-23.
31. Motta, A. C. V. & M. Barcellos. (2007). *Funções do Solo no Meio Ambiente* in: Universidade Federal do Paraná. 111pp. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola Curitiba.
32. Noleto, P. F., P. C. Noleto, K. F. Sousa, A. P. M. Guimarães (2020). Influência das Queimadas para a Qualidade Orgânica de duas áreas do Cerrado Tocantinense. *Natural Resources*, 10 (1):1-9.
33. Ossene, A. L. (2015). *Avaliação da Incidência de Queimadas no Ecossistema de Mopane no Distrito de Mabalane de 2002-2011*. Tese de Licenciatura 47pp. Maputo, Universidade Eduardo Mondlane.

34. Pereira, M. G., L. H. C. dos Anjos, C. R. P. Junior, L. A. da S. R. Pinto, E. C. da S. Neto, A. Fontana; *Formação e Caracterização de Solos* in Tullio, L. (2109). *Formação, Classificação e Cartografia dos Solos* Atena Editora. Ponta Grossa – Paraná – Brasil, p. 01 – 21.
35. Pooley, S. (2012). Recovering the Lost History of Fire in South Africa's Fynbos. *Environmental History*, 17(1): 55-83.
36. Redin, M., G. de F. dos Santos, P. M. Denega, G. Luís, M. Lupatini, A. Doneda & E. L. de Souza, (2011). Impactos da Queima sobre Atributos Químicos, Físicos e Biológicos do Solo. *Ciência Florestal, Santa Maria*, 21 (2): 381-392.
37. Boletim da República (2021). Resolução que aprova o Plano Especial de Ordenamento do Território da Ilha de *KaNyaka*, no Município de Maputo e Parte do Distrito de Matutuine, na Província de Maputo (2021 – 2046). In Boletim da República, Resolução n.º 8/2021 de 29 de Dezembro.
38. Rinklebe, J., Shaheen, S. M., & Furuno, T. (2017). Impact of wildfires on soil properties and soils recovery in affected areas: a review. *Geoderma*, 294, 59-71.
39. Ronquim, C. (2010). Capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB. Embrapa. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31004/1/BPD-8.pdf>
40. Singh, S., Bhargava, S., Yadav, A., & Tomar, S. (2018). Impact of forest fire on soil properties and plant regeneration: *A review. Indian Forester*, 144 (4): 331-342.
41. Signor, D., R. V., Czczyca, Débora M. B. Pereira Milori, Tony J. F. Cunha e Carlos E. Pellegrino (2016). Atributos químicos e qualidade da matéria orgânica do solo em sistemas de colheita de cana-de-açúcar com e sem queima. *Cerr Pesq. agropec. bras., Brasília*, 51 (9): 1438-1448.
42. Sirtoli, A. E. *O Solo na Paisagem* in: Universidade Federal do Paraná. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, (2007). *O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio*. Curitiba, p.89 – 99.
43. Sojka, R. E., & Upchurch, D. R. (1999). Conceptual framework for assessing tillage impacts on soil quality. *Soil and Tillage Research*, 53 (1): 183-190.

44. Souza, L. R., Silva, E. M. R., Curi, N., & Marques, J. J. G. S. M. (2015). Macrofauna edáfica como indicadora da qualidade do solo em áreas agrícolas. *Revista de Ciências Agrárias*, 38 (2): 224-235.
45. Roxburgh, S., K., Shea, J.B Wilson, (2004). The intermediate disturbance hypothesis: Patch dynamics and mechanisms of species coexistence. *Ecology*, 85(2):359-371
46. Ruiz, N e P. Lavelle (2008). Soil Macrofauna Field Manual technical Level. Food And Agriculture Organization Of The United Nations. Rome. Italy.
47. Souza, M. H., B. de C. R. Vieira, A. P. G. Oliveira & A. A. do Amaral, (2015). Macrofauna do Solo. *Enciclopédia biosfera*. Centro Científico Conhecer - Goiânia, 11 (22):115
48. Silva, M.,O.L.V Cassio, L.N. Denisson, O. Jailson, O. Dalbert, F.P. Kleyton, (2020) Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. *Brazilian journal of Development* 7(6) : 1-18
49. USDA - United States Department of Agriculture. (2010). Soil quality concepts. Natural Resources Conservation Service. Recuperado de: https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/health/assessment/?cid=nrcs142p2_053864
50. Viera, A.C., R. Melloni, E. G.P. Melloni. M, C, Guimaraes. M,S, Freitas. D,Pecoraro. (2016). Fogo e seus efeitos na qualidade de solo de pastagem. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9(6) : 1763-1711.
51. Vieira, A. C. (2016) *Efeito de Queimadas Sobre Atributos Físicos, Químicos e Microbiológico do Solo em Áreas de Pastagem, no Sul de Minas Gerais*. Tese de Mestrado 64pp. Itajubá, Universidade Federal de Itajubá.
52. Woodcock, C. W. (2012). Fire and the Effects of Fire on Soil Invertebrates: A Systematic Review. *International Journal of Wildland Fire*, 21(7), 817-830.

12. ANEXO

Anexo 1. Dados de indicadores físicos-químicos

Nr de lab	Area	Quadricula	Profundidade	PH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCL} (1:2.5)	CE (mS/cm)1:2.5	P(mg/kg)	Na(meq/100g)	K(meq/100g)	%CO	%MO	% Area	% Ar
1	Alta	Q1	0-20	6,75	4,69	0,005	4,98	0,32	0,19	1,16	2,00	94,64	5,3
2	Alta	Q1	20-50	6,73	4,95	0,005	0,83	0,32	0,19	0,53	0,92	92,01	5,1
3	Alta	Q2	0-20	6,53	5,57	0,006	4,57	0,32	0,19	0,58	1,00	93,77	4,5
4	Alta	Q2	20-50	6,41	5,43	0,005	3,74	0,32	0,08	0,82	1,42	95,31	3,6
5	Alta	Q3	0-20	6,52	5,60	0,006	1,66	0,32	0,19	0,43	0,75	94,06	3,4
6	Alta	Q3	20-50	6,25	6,44	0,006	1,66	0,32	0,08	0,68	1,17	91,81	7,1
7	Media	Q1	0-20	6,36	5,84	0,006	10,79	0,32	0,21	0,82	1,42	93,27	4,8
8	Media	Q1	20-50	6,09	4,47	0,004	2,91	0,32	0,19	0,39	0,67	90,13	8,9
9	Media	Q2	0-20	5,91	5,31	0,005	11,21	0,32	0,21	0,48	0,83	90,47	8,1
10	Media	Q2	20-50	6,25	5,54	0,006	3,32	0,32	0,19	0,19	0,33	93,95	2,5
11	Media	Q3	0-20	6,40	5,88	0,006	9,55	0,33	0,21	0,63	1,08	91,40	4,3
12	Media	Q3	20-50	6,56	5,94	0,006	4,15	0,32	0,19	0,63	1,08	90,31	5,8
13	Baixa	Q1	0-20	5,31	4,67	0,005	3,74	0,32	0,19	0,39	0,67	90,24	6,5
14	Baixa	Q1	20-50	5,27	5,05	0,005	4,98	0,32	0,09	0,92	1,58	90,66	8,4
15	Baixa	Q2	0-20	5,68	4,92	0,005	4,15	0,32	0,19	0,63	1,08	90,30	7,8

16	Baixa	Q2	20-50	5,71	5,56	0,006	2,08	0,32	0,09	0,10	0,17	98,98	1,0
17	Baixa	Q3	0-20	5,49	4,75	0,005	7,89	0,32	0,19	0,53	0,92	92,78	6,7
18	Baixa	Q3	20-50	5,30	5,13	0,005	2,08	0,32	0,19	0,97	1,67	92,97	7,0

Anexo 2. Dados de Amostras obtidos da área de altas frequências de queimadas

Ordem	Quadricula 1	Quadricula2	Quadricula 3
Coleoptera	15	11	4
Aracnida	9	1	10
Hymenoptera	340	266	155
Diptera	16	3	12
Isoptera	2	0	2
Orthoptera	4	0	4
Acarina	5	2	1
Blattoptera	0	1	0
Quilopode	0	2	0
Hemiptera	0	1	1
Diplopode	0	1	1
Strepsiptera	0	0	0

Anexo 3. Dados de Amostras obtidos da área de média frequência de queimadas

Ordem	Quadricula 1	Quadricula 2	Quadricula3
Coleoptera	22	12	19
Aracnida	5	3	12
Hymenoptera	84	266	104
Diptera	22	3	4
Isoptera	0	1	0
Orthoptera	0	1	0
Acarina	6	4	8
Blattoptera	0	0	0
Quilopode	0	0	1
Hemiptera	4	3	4
Diplopode	1	0	0
Strepsiptera	1	0	0

Anexo 4. Dados de Amostras obtidos da área de baixa frequência de queimadas

Ordem	Quadricula 1	Quadricula 2	Quadricula3
Coleoptera	22	9	9
Aracnidia	9	8	11
Hymenoptera	31	112	111
Diptera	4	1	1
Isoptera	6	9	6
Orthoptera	3	1	1
Acarina	5	1	1
Blattoptera	0	0	1
Quilopode	0	0	0
Hemiptera	4	4	1
Diplopode	1	1	0
Strepsiptera	0	0	0

Anexo 5. Anexo teste de levene

Levene Test of Homogeneity of Variances (Spreadsheet1) Marked effects are significant at p < ,05000								
	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p
PH_{H2O}(1:2.5)	0,004713	2	0,002357	0,17566	15	0,011711	0,201246	0,819883
pH_{KCL}(1:2.5)	0,131958	2	0,065979	1,51238	15	0,100825	0,654388	0,533979
CE (mS/cm)1:2.5	0,000000	2	0,000000	0,00000	15	0,000000	0,654388	0,533979
%CO	0,020471	2	0,010235	0,34865	15	0,023244	0,440357	0,651868
%MO	0,060843	2	0,030421	1,03625	15	0,069083	0,440357	0,651868
% Argila	2,612332	2	1,306166	28,35723	15	1,890482	0,690917	0,516375
%Limo	0,526285	2	0,263143	4,45403	15	0,296936	0,886194	0,432736

Anexo 6. Análise de variância dos indicadores físicos – químicos do solo.

Analysis of Variance (Spreadsheet1) Marked effects are significant at p < ,05000								
	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p

PH_{H2O}(1:2.5)	3,71772	2	1,85886	0,65233	15	0,04348	42,743 43	0,0000 1
pH_{KCL}(1:2.5)	0,85186	2	0,42593	3,89885	15	0,25992	1,6386 8	0,2271
CE (mS/cm)1:2. 5	0,00000	2	0,00000	0,00000	15	0,00000	1,6386 8	0,2271
%CO	0,09639	2	0,04819	1,11748	15	0,07449	0,6469 6	0,5376
%MO	0,28649	2	0,14325	3,32131	15	0,22142	0,6469 6	0,5376
% Argila	5,73532	2	2,86766	73,7528	15	4,91685	0,5832 3	0,5702
%Limo	8,03056	2	4,01528	23,3868	15	1,55912	2,5753 5	0,1092 72

Continuação...

P(mg/kg)
Kruskal-Wallis test: H (2, N= 18)
=3,500519 p =0,1737

	Alta	Media	Baixa
Alta		1.865546	0.892218
Media	1.865546		0.973329
Baixa	0.892218	0.973329	

Na (meq/100g)
Kruskal-Wallis test: H (2, N= 18)
=2,782617 p =0,2488

	Alta	Media	Baixa
Alta		0.479245	1.000000
Media	0.479245		0.611469
Baixa	1.000000	0.611469	

Anexo 7. Teste de Tukey para pH H2O.

Tukey HSD test; Variable: PH _{H2O} (1:2.5) (Spreadsheet1) Marked differences are significant at p < ,05000			
	{1} - M=6,5298	{2} - M=6,2608	{3} - M=5,4598
Alta {1}		0,097617	0,000178
Media {2}	0,097617		0,000191
Baixa {3}	0,000178	0,000191	

Anexo 8. Teste de Kruskal-Wallis ANOVA de Sódio.

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; Na(meq/100g) (Spreadsheet1) Independent (grouping) variable: Frequencia de queimadas Kruskal-Wallis test: H (2, N= 18) =2,782617 p =,2488				
	Code	Valid - N	Sum of - Ranks	Mean - Rank
Alta	101	6	47,50000	7,91667

Media	102	6	73,50000	12,25000
Baixa	103	6	50,00000	8,33333

Anexo 9. Teste de Kruskal-Wallis ANOVA de Potássio.

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; K(meq/100g) (Spreadsheet1) Independent (grouping) variable: Frequencia de queimadas Kruskal-Wallis test: H (2, N= 18) =4,831547 p =,0893				
	Code	Valid - N	Sum of - Ranks	Mean - Rank
Alta	101	6	44,50000	7,41667
Media	102	6	80,00000	13,33333
Baixa	103	6	46,50000	7,75000

Anexo 10. Teste de Kruskal-Wallis ANOVA de % areia.

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; % Area (Spreadsheet1) Independent (grouping) variable: Frequencia de queimadas Kruskal-Wallis test: H (2, N= 18) =4,011696 p =,1345				
	Code	Valid - N	Sum of - Ranks	Mean - Rank
Alta	101	6	78,00000	13,00000
Media	102	6	43,00000	7,16667
Baixa	103	6	50,00000	8,33333

Anexo 11. Teste de Kruskal-Wallis ANOVA de Fosforo.

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; P(mg/kg) (Spreadsheet1) Independent (grouping) variable: Frequencia de queimadas Kruskal-Wallis test: H (2, N= 18) =3,500519 p =,1737				
	Code	Valid - N	Sum of - Ranks	Mean - Rank
Alta	101	6	40,00000	6,66667
Media	102	6	74,50000	12,41667
Baixa	103	6	56,50000	9,41667

Áreas de frequência de queimada	Parâmetros físicos-químicos										
	pH H2O	pH KCL	CE (mS/cm)	P (mg/kg)	Na (meq/100g)	K (meq/100g)	% CO	% MO	% Argila	% Limo	% Areia
P-value (5%)	0,00	0,22	0,22	0,17	0,24	0,08	0,53	0,53	0,57	0,10	0,13
Alta	6.5	5.4	0.0054	2.9	0.321	0.15	0.70	1.21	4.89	1.51	93.6
Baixa	5.5	5.0	0.0050	4.2	0.321	0.16	0.59	1.01	6.26	1.09	92.7
Media	6.3	5.5	0.0055	7.0	0.323	0.20	0.52	0.90	5.75	2.67	91.6

Anexo 12. Teste de Friedman ANOVA para os diferentes níveis de frequências de grupos taxonômicos de macrofauna.

Friedman ANOVA and Kendall Coeff. of Concordance (Spreadsheet14) ANOVA Chi Sqr. (N = 12, df = 2) = ,5909091 p = ,74419 Coeff. of Concordance = ,02462 Aver. rank r = -,0640				
	Average - Rank	Sum of - Ranks	Mean	Std.Dev.
Alta	2,166667	26,00000	72,41667	217,1319
Media	1,958333	23,50000	49,16667	128,4904
Baixa	1,875000	22,50000	31,08333	71,3142

Anexo 13. Teste de Homogeneidade de Levene.para abundancia de macrofauna

Levene Test of Homogeneity of Variances (Spreadsheet16) Marked effects are significant at p < ,05								
	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p
Abundancia	0,019772	2	0,009886	0,052190	6	0,008698	1,136546	0,381461

Anexo 14. Análise de variância para abundancia de macrofauna

Analysis of Variance (Spreadsheet16) Marked effects are significant at p < ,05000								
	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p
Abundancia	0,257601	2	0,128801	0,227988	6	0,037998	3,389678	0,103497