



Faculdade de Ciências

Departamento de Ciências Biológicas

Licenciatura em Ecologia e Conservação da Biodiversidade Terrestre

Culminação de Estudos II

Variante: Investigação

**Resposta da Macrofauna do Solo ao Regime de Fogo no Parque Nacional de
Maputo: Um teste á Hipótese de Pirodiversidade-Biodiversidade**

Autora: Adília Abelarda Tembe

Maputo, Novembro 2025



Faculdade de Ciências

Departamento de Ciências Biológicas

Licenciatura em Ecologia e Conservação da Biodiversidade Terrestre

Culminação de Estudos II

Variante: Investigação

**Resposta da Macrofauna do Solo ao Regime de Fogo no Parque Nacional de
Maputo: Um teste á Hipótese de Pirodiversidade-Biodiversidade.**

Autora: Adília Abelarda Tembe

Supervisor: Doutor Hugo Mabilana, Eng^o

Co-Supervisor: Prof. Doutor Bernardo Muatinte

Maputo, Novembro 2025

Agradecimentos

Em primeiro agradecer ao meu bom e maravilhoso Deus pelo dom da vida, pela saúde, sabedoria e sua presença em minha vida e por ter me guiado desde o início dessa jornada até o final desse trabalho.

À minha querida mãe, Abelarda Silombe pelo seu amor, incentivo moral, emocional e o apoio incondicional, aos meus irmãos Arnaldo Tembe, Helton Tembe e a minha querida irmã Amália Tembe pelo suporte sempre que eu precisasse e por estarem comigo em todos os momentos ao meu lado e que fizeram com que não desistisse dos estudos, pois, sei que esse sonho nunca foi só meu.

De modo especial ao meu supervisor Doutor Hugo Mabilana, Eng^o pela confiança que em mim depositou, pela orientação, paciência, disponibilidade bem como o conhecimento por ele transmitido para tornar esse trabalho uma realidade e também pelo seu suporte. Ao meu Co-supervisor Prof. Doutor Bernardo Muatinte pela oportunidade de redigir este trabalho, por ter me acolhido como sua orientanda e pelo suporte dado no processo de coleta de dado.

As minhas meninas Rhulany Cossa, Jennifer Sumbane e Geniffer Socieche que mesmo antes da escolha do curso estiveram lá desde o início dessa caminhada, pela amizade, apoio, suporte, partilha e pela presença nos momentos bons e difíceis da minha vida na academia e fora dela.

Ao meu grupo de estudos e colegas a Naira Novela, Laiza Cumbi, Tífane Zunguze, Nabi Raimundo, Elina Matavel, pelo compaheirismo, auxílio mútuo e pelos momentos descontraídos que proporcionaram um ambiente mais leve nessa jornada e de modo particular o meu agradecimento também vai ao grupo “Macrofauna” da expedição a Palmira Leopoldo, Marlon Vaz e a Lúcia Rupansana que deram o melhor de si na realização do processo de amostragem da macrofauna do solo.

Os agradecimentos estendem-se a todo corpo de docentes do Departamento de Ciências Biológicas pelos conhecimentos e ensinamentos transmitidos.

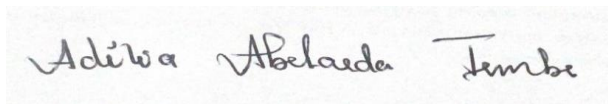
Por fim, sou grata a todos que de alguma forma direta ou indiretamente participaram e apoiaram nessa caminhada, **O meu Muito Obrigada!**

Declaração de honra

Eu, **Adília Abelarda Tembe**, declaro por minha honra que o presente relatório do trabalho de investigação é inteiramente de minha autoria, que todas as fontes estão devidamente referenciadas e que nunca foi apresentado para obtenção de qualquer grau ou finalidade que não seja indicado- Licenciatura em Ecologia e Conservação da Biodiversidade Terrestre, do Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, Novembro de 2025

A Declarante

A handwritten signature in black ink on a light blue background. The signature reads "Adília Abelarda Tembe" in a cursive script.

(Adília Abelarda Tembe)

Dedicatória

Dedico este trabalho ao meu amado e eterno Pai Arnaldo Paulino Tembe (em memória), que desde muito cedo plantou em mim o amor pelos estudos e foi um dos meus maiores mentores até em vida.

Lista de Abreviaturas

ANOVA- Análise de Variância

DCB- Departamento de Ciências Biológica

GPS- *Global Position System*

ID- *Identify document*

MCD64A1- *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Collection Data Burned Area Product*

MODIS- *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*

NASA- *National Aeronautics and Space Administration*

PNAM- Parque Nacional de Maputo

UEM- Universidade Eduardo Mondlane

H'- Índice de Shannon

D'- Índice de Simpson

J'-Equitabilidade de Pielou

Lista de Figuras

Figura 1: Localização Geográfica do Parque Nacional de Maputo (PNAM).....	6
Figura 2 : Mosaicos de paisagens com diferentes níveis de pirodiversidade, desde áreas com uma única frequência de fogo até áreas com múltiplas frequências, ilustrando o aumento de espécies ao longo do gradiente de fogo.	12
Figura 3: Classificação da fauna do solo em função do tamanho corporal.	15
Figura 4: A1-1 classe de fogo com baixa frequência, A2 e A3-2 classes de fogo com frequências médias, A4 e A5- 3 classes de alta frequência de fogo.....	19
Figura 5: Ilustracao do desenho experimental e a disposicao das armadilhas.....	20
Figura 6: Processo de instalação de armadilhas de Pitfall nas áreas de estudo.	21
Figura 7: Ilustração dos procedimentos na colecta, triagem e identificação da Macrofauna do solo.	22

Figura 8: Mapa de distribuição de queimadas no PNAME na série temporal de 2002-2022 com os respectivos pontos de amostragem. :	24
Figura 9: Abundância média de indivíduos por espécies.	27
Figura 10: Boxplot do índices de Shannon (H') comparando as diferenças entre os transectos.	28
Figura 11: Boxplot do índice de Simpson (D') comparando as diferença entre os transectos.	29
Figura 12: Boxplot do índice de Equitabilidade de Pielou (J') comparando as diferenças entre os transectos.....	29
Figura 13: Comparação da diversidade de Shannon (H') entre as classes de regime de fogo.	31
Figura 14: Comparação do índice de simpson (D') entre as classes de regime de fogo.	31
Figura 15: Comparação do índice de Equitabilidade de Pielou (J') entre as classes de fogo.....	32

Listas de Tabelas

Tabela 1: Área ocupada por frequências das classes de fogo em Km^2 de 2002-2022.	25
Tabela 2: A abundância total de indivíduos, riqueza e principais grupos da macrofauna do solo colectados nos diferentes regime de fogo (Classe de fogo).	25
Tabela 3: Valores de índices de diversidade (Shannon H' , Simpson D' e Equitabilidade de Pielou J') da macrofauna do solo por transecto, em cada classe de regime de fogo.....	27
Tabela 4: Índices de diversidade (Shannon, Simpson e Equitabilidade Pielou) da macrofauna do solo nos diferentes regimes de fogo (Classe de fogo).	30
Tabela 5: Lista das espécies colectadas nas classes de regime de fogo.	Erro! Indicador não definido.

Resumo

A frequência do fogo é uma das principais componentes de um regime de fogo e exerce forte influência sobre a estrutura e a dinâmica dos ecossistemas e por meio de técnicas de detecção remota, como o uso do sensor MODIS é possível mapear a ocorrência e distribuição das queimadas ao longo dos anos em uma área. Assumi-se que a alta pirodiversidade (diferentes regimes de fogo) é necessário para manter a alta biodiversidade, apesar dessa hipótese ter ganhado destaque á um apoio limitado em ecossistemas de savana em relação a fauna edáfica. A macrofauna do solo é constituído por um conjunto de organismos que actuam como indicadores de qualidade ambiental, participam na ciclagem de nutrientes entre outras funções ecossistêmicas. Este estudo avalia a relação entre o regime de fogo e a diversidade biológica da macrofauna do solo no PNAM. O estudo decorreu em duas etapas: a primeira consistiu no tratamento de dados do MODIS usando o produto de queimadas o MCD64A1 para o mapeamento de áreas queimadas no período de 2002 á 2022 o que permitiu a obtenção do mapa de distribuição do regime de fogo onde foram identificadas cinco paisagens com diferentes frequências de classes de fogo; A segunda no levantamento da macrofauna do solo que foi realizado entre finais de Março e início de Abril de 2024. Através do método de captura *Pitfall Trapping*, o esforço total de armadilhas foi de 405. Foram capturados e identificados 6.305 indivíduos distribuídos em 13 ordens, 25 famílias e 45 espécies. Foi estimada a riqueza, abundância e a diversidade usando os índices de Shannon, Simpson e Equitabilidade de Pielou. A composição específica e a diversidade foram comparados entre as classes de regime de fogo, por sua vez foi verificada maior diversidade na classe 1 (baixa frequência de fogo), seguida da classe 3 (alta frequência de fogo) e a classe 2 foi menos diversa, o teste da ANOVA revelou diferenças significativas entre os transectos e as classes de fogo. Este estudo sugere pouco suporte geral da macrofauna do solo para a hipótese de pirodiversidade e que avaliar uma resposta geral da macrofauna do solo ao regime de fogo é complicado, principalmente devido as diferenças entre os grupos da macrofauna do solo aos diferentes regimes de fogo. Contudo, este é o primeiro estudo que explorou a resposta da macrofauna do solo ao regime de frequência de fogo em Moçambique, a diversidade da macrofauna do solo para além do factor fogo também está relacionada a outras variáveis ambientais que possivelmente tenham uma forte influência na sua diversidade.

Palavras-Chave: Hipótese de Pirodiversidade-Biodiversidade, Macrofauna do solo, Pitfall Trapping, Moçambique, PNAM.

Índice

Agradecimentos	i
Declaração de honra.....	ii
Dedicatória.....	iii
Lista de Abreviaturas	iv
Lista de Figuras.....	iv
Listas de Tabelas.....	v
Resumo	vi
1. Introdução	1
1.1 Problema e Justificativa	4
2. Objectivos	5
2.1 Objectivo Geral	5
2.1 Objectivos Especificos	5
3. Hipóteses.....	5
3.1 Hipótese nula.....	5
3.2 Hipótese alternativa.....	5
4. Área de estudo.....	6
4.1 Relevo.....	7
4.2 Vegetação	7
4.3 Clima	7
4.4 Hidrografia	8
5. Revisão Bibliográfica.....	9
5.1 Regime de fogo	9
5.2 Detecção espacial e temporal de queimadas	10
5.3 O papel da pirodiversidade na biodiversidade	11

5.4 O conceito de biodiversidade	13
5.4.1 Biodiversidade da fauna do solo.....	13
5.5 Ecossistema do solo	14
5.6 Macrofauna do Solo	14
5.7 Classificação da macrofauna do solo	15
5.8 Importância da Macrofauna do Solo	16
5.9 A macrofauna do solo como bioindicador ambiental.....	17
6. Metodologia	18
6.1 Aquisição de dados de queimadas.....	18
6.2 Processamento dos dados	18
6.3 Identificação das áreas do gradiente de regime de fogo.....	19
6.4 Delineamento experimental.....	20
6.5 Colecta da Macrofauna do solo	20
6.5.1 Triagem e Identificação de Macrofauna do Solo.....	21
6.6 Análise de dados.....	22
7. Resultados	24
7.1 Regime de Fogo: Padrões espaciais e temporais de fogo (2002-2022).....	24
7.2. Composição, riqueza e abundância da Macrofauna do Solo.....	25
7.3 Análise da diversidade da Macrofauna do solo ao longo do gradiente de regime de fogo	27
8. Discussão	33
8.1 Regime de fogo: Frequência de fogo	33
8.2 Composição, riqueza e abundância da Macrofauna do Solo.....	33
8.3 Diversidade da Macrofauna do solo ao longo do gradiente de regime de fogo	36
8.4 Resposta da Macrofauna do solo á pirodiversidade	37
9. Conclusão.....	39

10. Limitações e Recomendações	40
11. Referências Bibliográficas	41
12. Anexos	47

1. Introdução

As actuais mudanças ambientais em parte provocadas pelas alterações climáticas e transformação do uso da terra, juntamente com as projecções do aumento na frequência dos regimes globais de fogo destacam a importância de compreender como é que as queimadas influenciam o funcionamento dos ecossistemas e a biodiversidade em todos os táxons e regiões geográficas (Aço *et al.*, 2023). O fogo é um agente ecológico e evolutivo, também considerado como um distúrbio de origem natural ou antropogênica (Farnsworth *et al.*, 2014). Embora o contexto actual do fogo tem refletido uma notável mudança de paradigma de conceitos anteriores como um agente destrutivo no qual não segue uma lógica racional por vezes contrariando os actuais conceitos aceites e estabelecidos (Tianhua *et al.*, 2019; McLauchan *et al.*, 2020).

Actualmente os ecologistas reconhecem o fogo como uma força regenerativa, que actua na liberação de nutrientes, cria a heterogenidade em escalas de organização biótica e envolve processos de cascatas tróficas, interações e *feedbacks* (Jones & Tingley, 2021). A estrutura conceitual primária usada para entender como o fogo afecta a biota é o regime de fogo, e alguns ecossistema terrestre têm um regime de fogo associado e definido (Frânces *et al.*, 2024).

Em Moçambique as queimadas ocorrem anualmente em todo o território nacional principalmente durante a época seca, sendo que milhares de hectares de florestas são queimadas e estima-se que 90% sejam causas antrópicas (MICOA, 2007). No entanto, também existem comunidades vegetais dependentes de fogo como o caso de savanas e florestas abertas e densas (MICOA, 2007; Maúze, 2016). O Parque Nacional de Maputo (PNAM) apresenta um ecossistema dependente do fogo, o que motivou a implementação de um plano de gestão de queimadas com regime de fogo definido onde são realizadas as queimadas prescritas anualmente como forma de melhorar a gestão da vegetação e intensificar os habitats da fauna no manejo da biodiversidade (ANAC, 2023).

O regime de fogo tornou-se uma das principais ferramentas usadas para a conservação da biodiversidade, contudo ainda há algumas lacunas de conhecimento que pode impedir a tomada de decisões nos projectos de manejo do fogo (Gaget *et al.*, 2020), embora existam alguns estudos realizados em relação ao regime de fogo e possíveis interações-respostas de vários organismos desde insectos, plantas, fauna e até o solo, como vistos por Ferreira (2019); Tianhua *et al.* (2019) e Souza *et al.* (2023), pouco foram desenhados a luz da hipótese de pirodiversidade-biodiversidade (Martin & Sapsi, 1992).

A pirodiversidade é entendida como a variação espacial e temporal dos regimes de fogo numa paisagem, a hipótese de pirodiversidade-biodiversidade postula que o aumento da variação espacial e temporal de queimadas produz uma maior variedade de nichos ecológicos e que suportam a coexistência de mais espécies em um habitat (Kelly e Brotons, 2017). A relação entre a pirodiversidade e biodiversidade proposta por Martin & Sapsis (1992) resulta de um profundo debate sobre a ecologia de fogo em que procura-se compreender como o historial dos regimes de fogo moldam os ecossistemas e a ligação entre os humanos e o fogo paisagísticos varia ao longo do tempo.

A expressão aliada a hipótese de pirodiversidade é o conceito de heterogeneidade de habitats, em que o fogo cria ambientes pirodiversos os quais formam um mosaico de áreas com diferentes regimes de fogos, podendo resultar em uma alta biodiversidade após eventos do fogo por conta das diferentes respostas das espécies presentes como também podem estar em diferentes nichos ocupados pelas espécies (Souza *et al.*, 2023). Nisto, espera-se que a pirodiversidade favoreça a biodiversidade! Apesar da popularidade da hipótese existem estudos que testaram a relação pirodiversidade e biodiversidade onde houve resultados mistos, em que uns apresentaram uma relação positiva e outras negativa e ou sem uma relação clara questionando assim a aplicabilidade da hipótese (Davies *et al* 2018; Thakur *et al* 2020).

Entretanto, a biodiversidade do solo é um componente importante da biodiversidade terrestre apesar do facto de que os invertebrados representarem a maior componente da biodiversidade global e de funcionamento dos ecossistemas, são relativamente pouco estudados em pesquisa de ecologia de fogo (Gaget *et al* 2020; Thakur *et al* 2020). Nos últimos tempos alguns táxons da macrofauna do solo têm sido frequentemente usadas como organismos modelo em estudos de perturbação por fogo (Maravalhas e Vasconcelos, 2014).

A macrofauna do solo é composta por invertebrados com mais de 10 mm de comprimento e 2 mm de diâmetro, que vivem no solo durante o seu estágio de ciclo biológico e é constituída por organismos pertencentes aos filos *Mollusca*, *Annelida* e *Arthropoda* (Souza *et al.*, 2015). Uma das principais funções da fauna edáfica é a participação na distribuição e ciclagem de nutrientes no solo (Araujo & Ribeiro, 2005). É fundamental também destacar que estes organismos são componentes importantes na biota do solo, actuam como engenheiros do solo, indicadores de qualidade de ambiente, fragmentadores e transformadores de matéria orgânica, bioturbadores do

solo e como predadores (Souza *et al.*, 2015). Há uma convergência entre os autores em classificar a macrofauna do solo em grupos funcionais usando critério trófico que pode ser modificada conforme o objectivo da análise realizada e a função específica que os organismos desempenham (Swift *et al.*, 1979 citado por Araujo & Ribeiro, 2005; Souza *et al.*, 2015).

Desta forma, para estratégias de manejo do fogo adequadas à conservação da biodiversidade, compreender como as espécies respondem às mudanças induzidas pelo fogo é essencial (Souza *et al.*, 2023). O regime de fogo envolve vários componentes, no entanto o presente estudo basou-se na frequências de fogo. O estudo se propôs a avaliar a relação entre o regime de fogo e a diversidade biológica da macrofauna do solo, considerando o legado de registo de ocorrência de fogo de mais de 20 anos do MODIS no Parque Nacional de Maputo.

1.1 Problema e Justificativa

O impacto do fogo sobre os ecossistemas e especial ao solo pode resultar em alterações na sua estrutura e funcionalidade. Isso ocorre porque o fogo não só afecta os atributos biológicos do solo mas também causa modificações de natureza física e química do solo, de forma directa ou indirecta (Jones & Tingley, 2021). O fogo afecta muitos dos organismos do solo que interagem com o ambiente subterrâneo, nos quais os efeitos directos causam mudanças de curto prazo, que se refletem na alteração da composição das espécies e nas mudanças na abundância de alguns grupos taxonômicos, sobretudo logo após a queima, afetando a camada superficial do solo até 2 cm (Redin *et al.*, 2011; Backes, 2017).

Os impactos indirectos estão geralmente associados a mudanças ambientais de longo prazo que afectam o bem-estar dos organismos localizados abaixo da superfície do solo (Redin *et al.*, 2011). Os efeitos indirectos podem envolver competição por habitat, fornecimento de alimentos e outras mudanças mais sutis no microclima (destruição do estado da matéria orgânica do solo, aumento da insolação superficial, temperatura ou pH) (Doamba *et al.*, 2014).

Há poucas evidências empíricas que suportam a hipótese de pirodiversidade-biodiversidade especialmente para o caso da macrofauna do solo como resultado dos efeitos da variação no regime de fogo (Souza *et al.*, 2023).

No PNAM a ocorrência de queimadas têm sido muito frequente nos últimos anos, principalmente devido á presença humana interior e ao redor do parque, como consequências das queimadas descontroladas em pastagens, o que constitue uma ameaça à biodiversidade desta área de conservação (Manhiça *et al.*, 2020). Este estudo investigou-se como diferentes regimes de fogo moldam a diversidade da macrofauna do solo no PNAM.

O manejo de fogo é uma das principais preocupações dos ecologistas, o que torna assim um desafio para os gestores do parque sendo essa uma área propensa a queimadas, que é o de assegurar a existência de múltiplas espécies que podem ter respostas diferentes ao fogo (Davies *et al.*, 2012). Portanto, é importante investigar a situação em que a macrofauna se encontra para avaliar dessa forma o efeito do fogo na biota do solo, bem como testar a hipótese de pirodiversidade. A maior parte das investigações foram realizadas na África do Sul, envolvendo estudos testando a hipótese na fauna e um grupo específico da macrofauna do solo (Doamba *et al.*, 2014). O conhecimento da fauna edáfica contribui para avaliar os ecossistemas naturais que recebem acções antrópicas e

servem como indicador de sustentabilidade, degradação e recuperação de habitats (Souza *et al.*, 2015).

2. Objectivos

2.1 Objectivo Geral

- Avaliar a resposta da Macrofauna do solo ao regime de fogo no Parque Nacional de Maputo.

2.1 Objectivos Especificos

- Mapear a frequência de fogo no Parque Nacional de Maputo de 2002 á 2022;
- Comparar a riqueza, composição e abundância da Macrofauna do solo nos diferentes regimes de fogo.
- Estimar a diversidade da Macrofuana do solo nos diferentes regime de fogo.

3. Hipóteses

Martin & Sapsis (1992) propuseram que a pirodiversidade pode promover a heterogeneidade de habitats e consequentemente aumentar a biodiversidade. Esta pesquisa explora a relação entre a diversidade de frequências de fogo e a diversidade da macrofauna do solo.

3.1 Hipótese nula

- A diversidade da macrofauana do solo independe da diversidade de regimes de fogos no PNAM.

3.2 Hipótese alternativa

- A diversidade da macrofauna do solo responde positivamente a uma diversidade de regimes de fogo no PNAM.

4. Área de estudo

O Parque Nacional Maputo (PNAM) é uma área protegida com uma extensão de 1.728 Km² que abrange ecossistemas costeiros, terrestre e marinhos. O PNAM foi estabelecido em Dezembro de 2021 anteriormente denominada de Reserva Especial de Maputo (REM) também conhecida como a Reserva de Elefantes, surge na unificação entre a REM e a Reserva Marinha Parcial da Ponta do Ouro (RMPPPO) (ANAC, 2023). Ambas reservas foram criadas com o objectivo de salguardar os elefantes e as tartarugas marinhas respectivamente daquela região, tornando assim espécies bandeira do parque. É uma das mais importantes áreas de conservação do país, reconhecido mundialmente por fazer parte do Centro de Endemismo Vegetal de Maputaland, este parque apresenta características que a tornam singular, pois inclui ecossistemas marinhos e terrestres, constituindo um património natural do país, particularmente, do distrito de Matutuíne (Manhiça *et al.*, 2020).

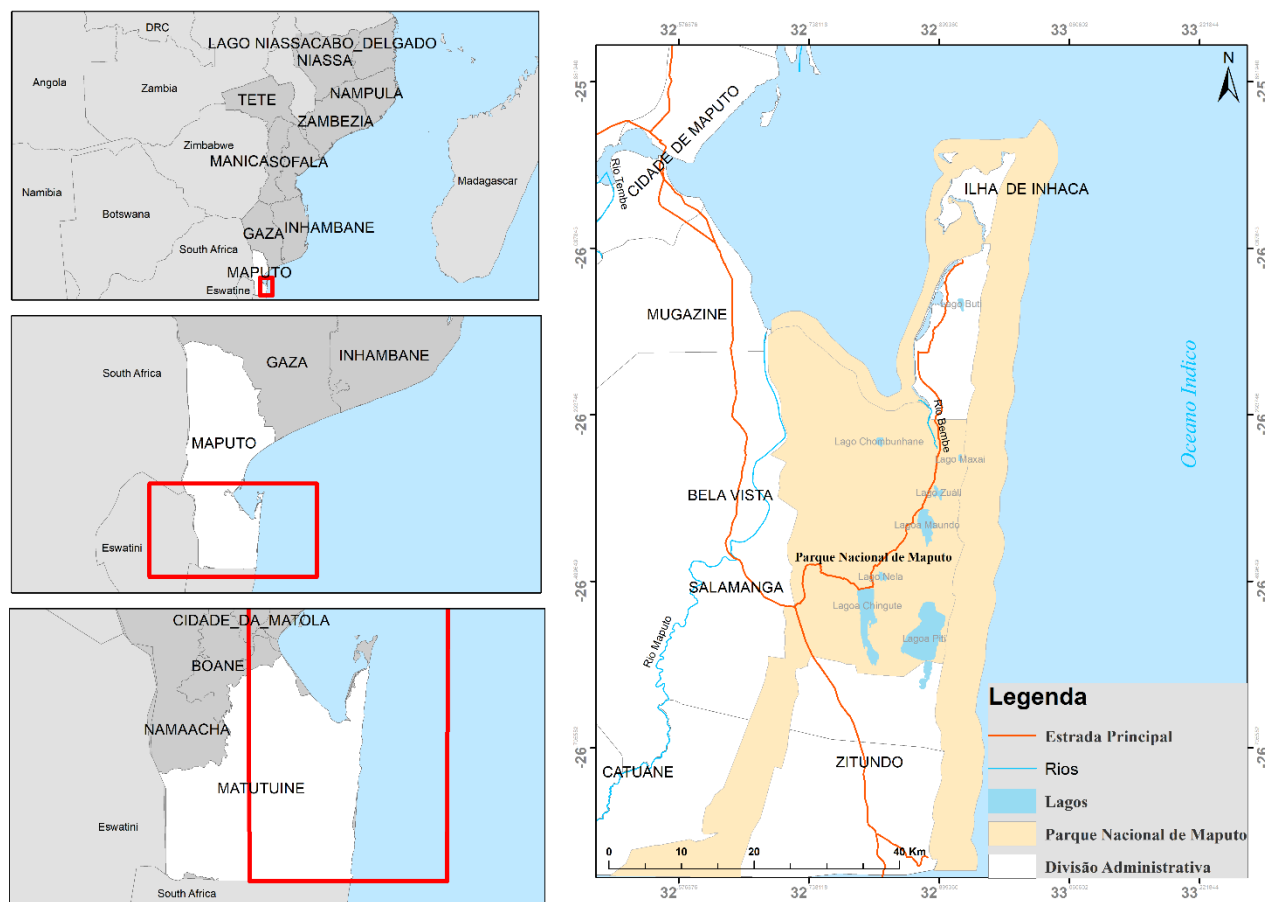


Figura 1: Localização Geográfica do Parque Nacional de Maputo (PNAM).

O PNAM está localizado no Distrito de Matutuíne na Província de Maputo no Sul de Moçambique, a Sul da Península de Machangulo as fronteiras atuais do PNAM são a Baía de Maputo a Norte, o Oceano Índico a Este, o Rio Maputo, Rio Futi e uma linha de 2 km a Este da estrada de Salamanga Ponta do Ouro a Oeste, e a Sul pela extremidade Sul do Lago Xingute e do Lago Piti (Manhiça *et al.*, 2020; Souza,1997).

4.1 Relevô

O solo do PNAM é principalmente arenoso e de iodo estuarino, solos arenosos e pobres em matéria orgânica estendem-se ao longo da costa enquanto que planíces pantanosas dos Rio futi e Maputo, contém solos aluvias férteis com alto teor em húmus e matéria orgânica, que são favoráveis a prática da agricultura (Chuma, 1999).

Os solos são variados de dunas recentes com areias brancas e avermelhadas ao longo da faixa costeira e areias cizenta e vermelho de dunas antigas são as predominantes e abarcam desde a linha das dunas até ao Rio Maputo, os solos arenosos predominam nas dunas antigas e encontram-se intercalados entre as dunas arenosas, nas planices dos elefantes e dos changos (Souza, 1997).

4.2 Vegetação

O distrito de Matutuíne ocupa uma área de cerca de 5340 km², esta área é caracterizada por elevados índices de biodiversidade e endemismos em termos florísticos, está insirida no centro de endemismo de Maputoland-Pondoland (Chuma, 1999). No PNAM a vegetação pode ser agrupada em duas comunidades vegetais: Mosaícos Costeiros (floresta pantanal, pradaria inundada, mangais, vegetação das dunas) e Mata indiferenciada (Mata aberta, floresta seca, Pradaria) e com os seus respectivos subtipos de vegetação, desses subtipos de vegetação são propensos ao fogo principalmente vegetação que incluem um estrato herbáceo ou graminhal, como a mata aberta e pradaria, em que o estrato herbáceo ou graminhal funciona como um tipo de combústível que favorece a ocorrência de fogo (Manhiça *et al.*, 2020; ANAC, 2023).

4.3 Clima

A região do PNAM apresenta um clima subtropical, caracterizado por verão quente e húmido, com um regime meteorológico anticiclónico e de depressões das altitudes médias caracterizadas por alta pressão atmosférica e de baixa precipitação, constituído por duas estações: verão com chuvas de Novembro a Abril e inverno época de seca de Maio a Outubro (ANAC, 2021). O regime de fogo nesta

região é caracterizado por alta frequência de queimadas ocorrendo principalmente na época seca com inverno e apresentam precipitações médias anuais que variam de 1000 mm (Ponta de ouro no sul-este) a 690mm (Bela vista), com temperaturas médias durante o ano que oscilam entre 26°C a 30°C no verão e 14°C a 26°C no inverno (ANAC, 2023).

4.4 Hidrografia

A hidrografia do PNAM é caracterizada pela existência de três principais rios, o Futi, Maputo e Tembe, os rios Futi e Maputo tem origem na África do Sul em Eswatini e também possui várias lagoas que são Piti, Chingute, Mundi e muitas outras massas de água mais pequenas (ANAC, 2021).

5. Revisão Bibliográfica

5.1 Regime de fogo

O regime de fogo refere-se às propriedades típicas de todos os eventos de fogo em uma determinada área de referência (comunidade para região) medidos durante um período de tempo prolongado (Tianhua *et al.*, 2019). Os principais componentes de um regime de fogo incluem a intensidade do fogo, o intervalo de tempo entre as queimadas, o padrão espacial de queimadas (tamanho, forma), severidade, gravidade, frequência e os impactos biogeoquímicos que moldam os solos e a vegetação (Bowman *et al.*, 2016).

O factor tempo é dada pela frequência de queimadas ou intervalo médio de queimadas e esses componentes são influenciados por factores bióticos e abióticos, incluindo estrutura da vegetação, a heterogeneidade topográfica, o clima local durante as queimadas e a fonte de ignição (Tianhua *et al.*, 2019).

A frequência de fogo tem limites superiores e inferiores aos quais uma espécie está adaptada em um ambiente ecológico e evolutivo em que são controladas pela idade e composição da vegetação, pois determinam o combustível disponível via produção primária líquida e pelo clima no momento de cada evento de fogo (Piromal *et al.*, 2008; Bowman *et al.*, 2016).

Esta componente é confundida pelo clima que controla o tipo de vegetação e estabelece os limites dentro dos quais o clima ocorre, mas também tem efeitos independentes como a incidência e sazonalidade de raios e a seca da matéria orgânica (Piromal *et al.*, 2008). Através do ciclo de *feedback*, o fogo molda a estrutura da vegetação que reforça a tendência para um regime de fogo específico com frequência de fogo previsíveis, nos casos em que os padrões de heterogeneidade do fogo tendem a se estabilizar com o tempo a faixa de variação dos componentes torna-se previsível, podendo ser definido um regime de fogo para em uma determinada área (Tingley *et al.*, 2016).

As queimadas em Moçambique ocorrem todos os anos principalmente durante a estação seca, ocorrendo com maior frequência durante os meses de Julho a Outubro coincidindo com a época seca e o predomínio de gramíneas (vegetação mais vulnerável ao fogo) e outros materiais inflamáveis expostos a uma fonte de ignição interagem levando assim a ocorrência de queimadas (Maúnze, 2016; ANAC, 2021). A dinâmica dos ecossistemas de savanas apresentam um regime do fogo influenciado por factores naturais climáticos: relâmpagos e raios; e factores antropogénicos: queimadas

descontroladas provenientes da queima para abertura de campos agrícolas, a caça, fabrico de carvão, colecta de mel, renovação de áreas de pastagens bem como para afugentar animais bravios das zonas residenciais rurais (Ubissee, 2015) .

No PNAM, as queimadas têm maior incidência no período de estiagem porque a vegetação encontra-se seca e com alta capacidade de combustão o que facilita a propagação do fogo em pouco tempo e consumindo grandes territórios (ANAC, 2021). Segundo DNAC (2009), o PNAM tem um ecossistema dependente do fogo o que motivou a implementação de um plano de gestão de queimadas onde são realizadas as queimadas prescritas anualmente como forma de melhorar a gestão da vegetação e a intensificação dos habitats da fauna bravia no manejo da biodiversidade.

Uma das estratégias do parque é utilizar o fogo como uma ferramenta para manter ou aumentar a heterogeneidade espacial da vegetação, renovação do pasto para garantir o alimento dos animais de criação adequado ao longo do ano para suportar as grandes populações de mamíferos selvagens, retardar o crescimento das plantas lenhosas onde necessário e reduzir o risco de ocorrência do fogo acidental ou provocado o que ameaçará a sobrevivência das espécies ou destruir a composição ou estrutura de uma comunidade de vegetação prioritária (ANAC, 2023).

5.2 Detecção espacial e temporal de queimadas

A distribuição das queimadas ao longo do ano constitui uma informação importante na prevenção e manejo de fogo em várias áreas, pois, indica as épocas de maior ocorrência de queimadas a qual varia significativamente de uma região para outra (Piromal *et al.*, 2008).

A disponibilidade de informações detalhadas e atualizadas sobre localização e extensão das áreas queimadas é muito importante para avaliar os efeitos ecológicos, perdas econômicas, monitorar mudanças no uso e cobertura da terra e elaborar modelos atmosféricos e de impactos climáticos devidos à queima de biomassa vegetal (Santana, 2019). O sensoriamento remoto representa uma ferramenta particularmente útil para obter essas informações, principalmente em extensas áreas afectadas pelo fogo ou que sejam áreas de difícil acesso (Piromal *et al.*, 2008).

A detecção de fogo a partir de sensoriamento remoto em geral é realizada de duas formas específicas: a primeira utiliza-se o padrão térmico dos alvos para detectar anomalias termais como por exemplo o fogo activo onde a observação é realizada por sensores capazes de obter informações nos canais espectrais do infravermelho médio e termal e a segunda tem o objetivo de mapear as cicatrizes de

queimadas e é realizada levando-se em conta as alterações espectrais da vegetação, principalmente nos canais do visível e infravermelho próximo, relacionadas ao total de cinzas e carvão, solo exposto e à recuperação da vegetação (INPE, 2003; Lattore et al, 2003).

O sensor MODIS a bordo das plataformas Terra e Aqua foi configurado para fornecer dados sobre a dinâmica da biosfera terrestre visando na compreensão dos processos que ocorrem na superfície da terra, nos oceanos e na atmosfera inferior, causadas por actividades antrópicas ou pela própria natureza (Da Silva e Beltrão, 2021). Este radiômetro imageador permite a geração de imagens com resolução espacial de 250m a 1000 m (na região do visível e infravermelho próximo e na região do infravermelho médio e distante, respectivamente) e possui frequência de revisita entre 1 e 2 dias no Equador em que as radiâncias detectadas pelo sensor são quantificadas em classes dinâmicas de 12 bits o que implica em 4.096 níveis digitais (Libonati *et al.*,2015). Os dados obtidos a partir do sensor MODIS são mais precisos e adequados ao monitoramento a nível global e regional de superfícies queimadas, uma vez que apresenta melhoria significativa na geometria de aquisição de seus dados e bandas espectrais projetadas para a identificação de fogos activos com valores de radiância de saturação mais altos (Lattore *et al.*,2003).

Outra inovação do sensor MODIS é a disponibilização de produtos elaborados a partir de seus dados brutos onde foram gerados vários produtos globais de áreas queimadas resultantes dos dados do MODIS-Terra. O produto MCD64A1 na qual é baseado em um algoritmo que possui uma resolução de 500m resulta de uma abordagem híbrida, combinando fogo activos com mudanças em um índice de vegetação gerado nas bandas 5 e 7 e é o produto padrão da NASA de áreas queimadas com informações de 2001 até o presente ano e este possui dados produzidos em todos os meses do ano, indicando determinada parcela que teria sido queimada (Rodrigos et al, 2017; Da Silva e Beltrão, 2021).

5.3 O papel da pirodiversidade na biodiversidade

Os resultados de investigações históricas e contemporâneas levaram os ecologistas a desenvolver uma série de teorias sobre biodiversidade que se destinam a ajudar-nos a prever a biodiversidade num determinado espaço e tempo, uma componente importante das teorias da biodiversidade é como as variações nas escalas espaciais e temporais influenciam os padrões de biodiversidade (Thakur *et al.*, 2020).

O termo “Pirodiversidade” foi proposto pela primeira vez na literatura ecológica por Martin & Sapsis (1992), encapsula a ideia de que paisagens com maior heterogeneidade em idade, tamanho e severidade das manchas pós-fogo suportariam uma maior diversidade de espécies em que os diferentes componentes de um regime de fogo (frequência, intensidade, tamanho, sazonalidade, variação espacial e severidade) contribuem para a pirodiversidade (Kelly e Brotons, 2017). O artigo seminal de Martin & Sapsis (1992) estimulou um debate contínuo da biologia de conservação sobre sua hipótese “Pirodiversidade gera Biodiversidade” e por extensão a relevância do paradigma de manejo do fogo conhecido como queima em mosaico de manchas, que busca criar e manter a heterogeneidade espaço-temporal do habitat para promover a biodiversidade. Vários pesquisadores investigaram a hipótese da pirodiversidade-biodiversidade definindo estritamente a pirodiversidade como a heterogeneidade espaço-temporal da actividade de fogo na paisagem (Bowman *et al.*, 2016).

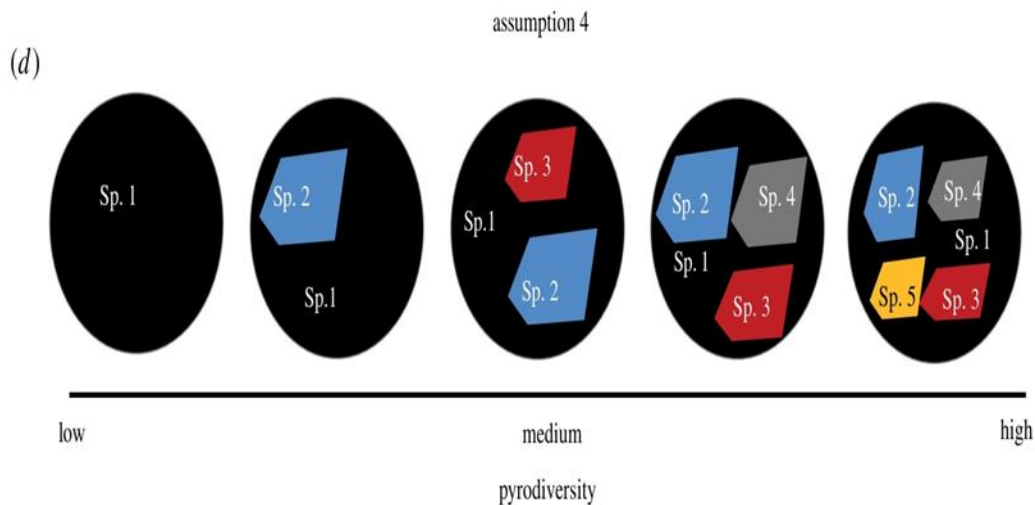


Figura 2: Mosaicos de paisagens com diferentes níveis de pirodiversidade, desde áreas com uma única frequência de fogo até áreas com múltiplas frequências, ilustrando o aumento de espécies ao longo do gradiente de fogo. Fonte: Davis *et al.*, 2018.

A hipótese de que a pirodiversidade gere biodiversidade foi desenvolvida como um experimento mental independente da teoria da biodiversidade, o que tornou-se cada vez mais influente na orientação do manejo da terra e da conservação da biodiversidade (Davis *et al.*, 2018). As avaliações da hipótese da pirodiversidade-biodiversidade vem sendo investigadas através dos diferentes estudos mostrando respostas fracas, fortes e nenhuma resposta de espécies à pirodiversidade (Tianhya *et al.*, 2019).

No entanto os testes de pirodiversidade-biodiversidade têm sido conduzidos quase universalmente como prova de estrutura de idade do fogo, em que a pirodiversidade é definida em termos da diversidade de manchas pós-fogo com idades diferentes em uma paisagem ou como variação espacial na frequência ou sazonal sincronismo do fogo (Tingley *et al.*, 2016).

Há pouca justificativa por que o aspecto temporal dos regimes de fogo tem sido estudado muito mais intensamente do que outros aspectos da pirodiversidade, excepto que o tempo desde a última queimada pode ser facilmente quantificável da pirodiversidade (Souza *et al.*, 2023). Conceitualmente, a hipótese de que a pirodiversidade gera biodiversidade é construída sobre a noção de diferenciação de comunidades, prevendo que as paisagens com maior diversidade de idades de fogo tenham maior diversidade entre locais, ou por outra, mais alta biodiversidade, o que leva ao facto de se presumir que tais paisagens sejam mais heterogêneas no espaço devido à forte influência do tempo desde a queimada na estrutura da vegetação, gerando assim a coexistência de um maior número de espécies com necessidade de recursos variados (Farnsworth *et al.*, 2014; Aco, 2023).

5.4 O conceito de biodiversidade

O termo biodiversidade é compreendido em dois níveis, primeiro na qual é referenciada a todas as formas de vida juntamente com a carga genética presente em cada indivíduo ou em ecossistemas e o segundo as inter-relações em que a existência de uma espécie afecta directamente as outras (WWF, 2008 citado por Catanozi, 2010).

A convenção sobre a biodiversidade biológica (CDB) define a biodiversidade ou diversidade biológica como uma variabilidade de organismo vivos de todas as origens e os complexos ecológicos de que fazem parte compreendendo ainda a diversidade dentro de espécies, entre espécies e em ecossistemas (CBD, 1992 citado por Franco, 2013).

5.4.1 Biodiversidade da fauna do solo

A biodiversidade da fauna edáfica pode ser compreendida como a variedade e variabilidade de espécies de organismos presentes no solo (Pereira *et al.*, 2012). Sabe-se que a biodiversidade de um ecossistema tem íntima e positiva correlação com a sustentabilidade e com o equilíbrio do ambiente, sendo uma das propriedades fundamentais da natureza responsável por manter o equilíbrio e a estabilidade dos ecossistemas (Silva dos Santos, 2021).

Alguns estudos de biodiversidade da fauna buscam atribuir valores por meio de "Índices" com objetivo de facilitar a avaliação, permitindo que ambientes de diferentes locais sejam comparados (Barreta *et al.*, 2011). A análise da diversidade constitui dois elementos principais: medida da riqueza de espécies e heterogeneidade que associam riqueza e uniformidade. A uniformidade, equidade ou equabilidade são a assembleia hipoteticamente esperada, na qual se apresenta completamente uniforme ou se representa algum padrão alcançável de equabilidade (Lima *et al.*, 2016)

5.5 Ecossistema do solo

O solo é um dos habitats mais complexos para a vida na terra e representa uma forma altamente compacta de habitat estruturado tridimensionalmente com gradientes de escala fina em características física-químicas, disponibilidade de recursos e concentrações de gás e é considerado um ecossistema vivo, além de ocorrerem inúmeras interações simultâneas em diferentes fases e profundidades, o mesmo abriga uma diversidade de animais e microorganismos (Thakur *et al.*, 2020). O solo representa o substrato que fornece os nutrientes e água que são essenciais para o desenvolvimento das plantas e animais que habitam no solo ou que dependem diretamente dele, é no interior do solo e sobre ele que se desenvolve a maior parte da vida encontrada nos ecossistemas terrestres (Silva e Amaral, 2013).

Destaca-se a importância dos organismos do solo devido as funções que exercem que são consideradas essências para o biofuncionamento dos solos e por isso torna-se importante o biomonitoramento dos mesmos (Silva dos Santos, 2021). A fauna do solo também está directamente ligada aos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes, que são de extrema importância para a manutenção da produtividade do ecossistema (Leão, 2018).

Além disso, foi sugerido que a biota no solo é mais abundante e extremamente rica em espécies em comparação com a maioria dos outros habitats da Terra (Thakur *et al.*, 2020). É um componente importante dos ecossistemas que podem ser afectados pelo fogo, e a biota do solo é um dos primeiros componentes do solo a responder à exposição ao fogo (Doamboa *et al.*, 2014).

5.6 Macrofauna do Solo

Refere-se à comunidade de invertebrados que definitivamente vive ou que desenvolvem um dos seus ciclos de vida no solo (Leão, 2018). A diversidade biológica do solo exerce significativamente interação com a manutenção da sua capacidade produtiva, favorecendo a disponibilidade de nutrientes

a destacar o nitrogênio, principalmente nas plantas e até mesmo para outros indivíduos (Barreta *et al.*, 2011).

A fauna edáfica adaptou-se para viver no solo e na matéria orgânica podendo ser distinguidos em grupos funcionais com base nas funções desempenhadas nos ecossistemas terrestres em: predadores, detritívoros/decompositores, geófagos/bioturbadores, fitófagos/pragas, micrófagos e insectos sociais (Souza *et al.*, 2015). Os saprófagos se alimentam dos materiais em decomposição liberando nutrientes que são disponibilizados as plantas, os predadores se alimentam de outros organismos vivos, os micrófagos são responsáveis pela regulação da população microbiana uma vez que se alimentam de microrganismos, já os insectos fitófagos são aqueles capazes de se alimentar diretamente de alguma planta viva (Souza *et al.*, 2015; Leão, 2018).

5.7 Classificação da macrofauna do solo

De um modo geral existem várias formas de classificar a biota do solo, a mais utilizada pelos pesquisadores é a classificação proposta por Swift *et al.* (1979) em que os grupos que contêm a biota do solo são classificados de acordo com sua mobilidade, hábito alimentar, função que desempenham no solo e principalmente pelo seu tamanho corporal em: microfauna (0,2 mm), mesofauna (0,2-2,0 mm) e macrofauna (>2,0 mm) (Barreta *et al.*, 2011). O tamanho corporal geralmente é o critério básico, pois apresenta alguma relação com o tamanho do tubo digestivo e do aparelho bucal (Silva e Amaral., 2013).

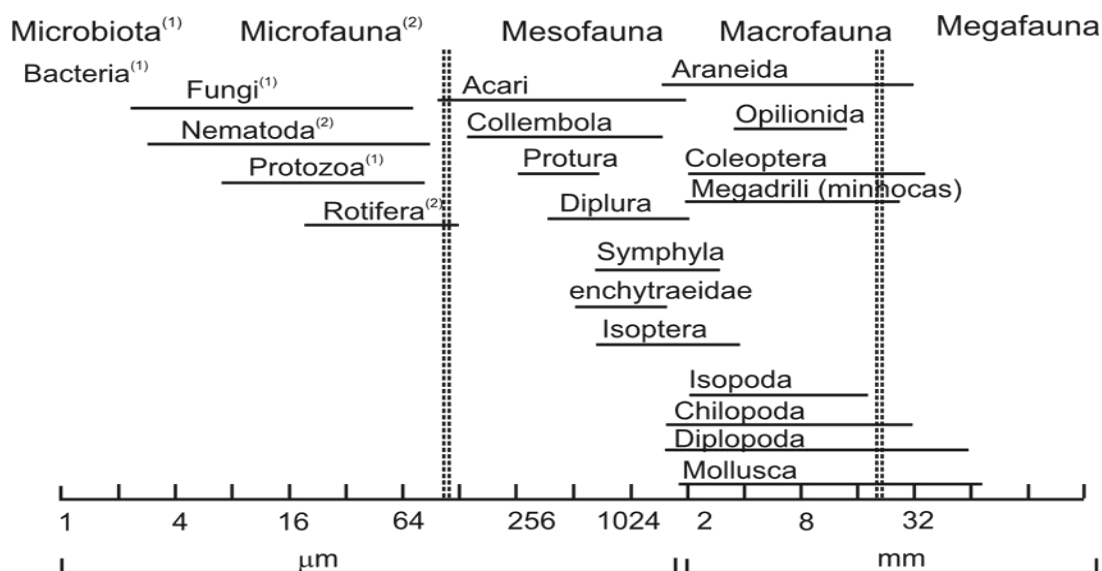


Figura 3: Classificação da fauna do solo em função do tamanho corporal.

Fonte: Swift *et al.*, 1979; Baretta *et al.*, 2011.

A macrofauna do solo é o foco principal deste estudo, embora alguns gêneros da mesofauna foram considerados e coletados pois normalmente são consideradas parte da macrofauna e porque a maioria é visível ao olho nú (Silva e Amaral, 2013). É composta pelos organismos de grande mobilidade, que exercem importante papel no transporte de materiais, assim a maioria dos integrantes da macrofauna do solo contribuem para a melhoria nas propriedades físicas e químicas do solo (Leão, 2018).

São organismos representantes da macrofauna do solo, os besouros (Coleoptera), formigas e vespas (Hymenoptera), cupins (Isoptera), centopéias (Scolopendromorpha), baratas (Blattoptera), tesourinhas (Dermaptera), bicho-pau ou phasmida (Phasmatodea), grilos e gafanhotos (Orthoptera), escorpiões (Scorpionida), percevejos e cigarras (Hemiptera), mariposas e borboletas em estado larvais (Lepidoptera) dentre outros (Baretta, 2007). Para este estudo, a macrofauna de solo foi direcionada especificamente aos insectos, esta escolha deve-se à sua elevada representatividade em termos de abundância e riqueza de espécies, bem como o papel ecológico que desempenham nos processos ecossistêmicos.

5.8 Importância da Macrofauna do Solo

A macrofauna do solo tem um papel fundamental para a manutenção da qualidade do solo, pois promove a redistribuição dos nutrientes e da matéria orgânica através da realização de actividades biodinâmicas (Souza *et al.*, 2017). Além disso, participam directamente do equilíbrio do ecossistema ao ocupar vários níveis tróficos da cadeia alimentar (Backes, 2017). No entanto, esse grupo de fauna demonstra grande sensibilidade frente as modificações ocorridas no ambiente tanto as biológicas, físicas e químicas, como as resultantes das práticas no manejo do solo (Pereira *et al.*, 2012).

Backes (2017), em seus estudos comenta que a diversidade de invertebrados edáficos resulta na produção de estruturas cuja abundância e qualidade são fundamentais para a conservação e dinâmica da matéria orgânica do solo, ciclagem de nutrientes e manutenção de propriedades físicas, essenciais para a sustentabilidade da produção primária.

Por esta razão, a actividade desempenhada pela fauna edáfica está relacionada e vinculada em vários serviços ambientais, dos quais destacam-se: a produção de alimentos, processos de decomposição e ciclagem de nutrientes que são primordiais para a manutenção da vegetação, decomposição da matéria orgânica, sequestro de carbono, conservação da biodiversidade, controle da erosão, polinização,

dispersão de sementes, estruturas como macroagregados, montículos e ninhos que geram uma melhor capacidade de infiltração de água, e descompactação do solo, troca de gases entre o solo e a atmosfera, disponibilizam nutrientes e oxigênio para as plantas, modificação das características químicas do solo, exercem importante papel no transporte de materiais, participando ativamente da retenção e reciclagem de nutrientes nos ambientes florestais (Leão, 2018).

5.9 A macrofauna do solo como bioindicador ambiental

Bioindicadores são considerados organismos ou comunidades que apresentam funções directamente relacionadas com determinados factores ambientais (Silva dos Santos *et al.*, 2021). De acordo com Backes (2017), o uso de organismos bioindicadores na avaliação da qualidade ambiental é de longa data, porém o termo bioindicador passou a ser aplicado com frequência em meados de 1960. Alguns grupos da macrofauna do solo têm sido amplamente usados como bioindicadores de distúrbios ambientais bem como da qualidade do solo, uma vez que alguns indivíduos mostram-se sensíveis ao uso e manejo do solo, além de envolver medições fáceis e de baixo custo (Baretta *et al.*, 2007).

Através de análises indicativas de como os organismos que estão inseridos numa determinada área reagem, como se relacionam com as outras espécies e com o meio onde estão inseridos é possível avaliar os impactos gerados pelo uso e manejo e assim definir estratégias que guiem o processo de restauração dessas áreas degradadas (Backes, 2017). Contudo o uso de bioindicadores no monitoramento de ecossistemas apresenta grande potencial de aplicação na avaliação de impactos causados aos mais diversos ecossistemas (Leão, 2018).

6. Metodologia

6.1 Aquisição de dados de queimadas

O Sensor MODIS desenvolvido pela NASA apresenta dados globais de fogos provenientes do satélite TERRA na qual possui inúmeras características duas quais são a sua ampla cobertura espacial e temporal (INPE, 2023). Este sensor possui um alcance espectral de 0.4-14.4 μm e uma resolução espectral de 250m (2 bandas), 500m (5 bandas), 1000 (29 bandas) em nadir, sendo que a cobertura de repetição é diária a norte da latitude 30° e a cada dois dias, para latitudes inferiores a 30° (Latorre *et al*, 2003). Os algoritmos foram desenhados para fornecer um produto global abrangente e com bom desempenho durante o intervalo da variação das condições de fogo. Para estimar a frequência de fogo foi usado o produto de fogo activo o MCD64A1 que é um produto fornecido normalmente em uma grade de 500metros por *pixel* (resolução espacial), referentes a extensão de área queimadas para o período de 2002 á 2022, totalizando 211 imagens mensais obtidas gratuitamente no site da NASA.

6.2 Processamento dos dados

Os dados adquiridos do produto do MODIS continham informações de queimadas para todo o país. As imagens da área queimada cujo seu produto é designado MCD64A1 foram recodificados para a projeção GCS_WGS_1984_UTM Zone 36S usando o *Software* ArcMap 10.8, através da ferramenta de geoprocessamento *ModelBuilder* por meio de uma fórmula que se redifiniu valores maiores que 0 e menor ou igual a 366 em presença de fogo. Portanto os *pixels* no intervalo de 1 á 366 dias julianos foram recodificados como: 1-área queimada e os restantes como 0-não queimado. O mesmo processo foi repetido de modo a ter mapas sequenciados de cicatriz de queimadas para cada imagem.

Fez-se o somatório mensal para obter as frequências anuais com o auxílio da ferramenta *Map_Algebra* em cada ano, obtendo assim a informação sobre a extensão e as áreas com maior frequência de queimadas ao longo do ano. Fez-se a sobreposição das imagens das frequências anuais e a média durante os vinte anos para obter o mapa final de frequência. A frequência de queimadas é tida como o número de eventos ou ocorrências de queimadas num dado ponto ou área durante um período de tempo ou período de registo (Melo, 2006; Piromal *et al.*, 2008).

Com o mapa de frequência de fogo referentes ao 20 anos fez-se o recorte para o território do Parque Nacional de Maputo. Foi criada uma grade de 500 metros para se ter ID's detalhados de frequência de fogo para a elaboração do gradiente de regime de fogo. No final foram selecionadas áreas com ID's que apresentaram classes diferenciadas de baixa á mais alta diversidade de frequência de fogo.

6.3 Identificação das áreas do gradiente de regime de fogo

A partir dos dados do mapa de classes de frequência de fogo, foram identificadas cinco paisagens que caracterizavam o gradiente de regime de fogos (Figura 4). Com o mapa de regime de fogo produzido e através dos dados sobre o tipo de solo e vegetação do PNAM foi possível ter uma prévia descrição destas paisagens, nas áreas A1, A2, A4 e A5 o tipo de vegetação encontrado foi pradaria arborizada e a A3 era uma pradaria simples, A1 têm solos arenosos do tipo B (Álbicos) e A2, A3 A4 e A5 também arenosos do tipo C (Próticos) (ANAC, 2021).

A1



A2



A3



A4



A5



Figura 4: A1-1 classe de fogo com baixa frequência, A2 e A3-2 classes de fogo com frequências médias, A4 e A5- 3 classes com alta frequência de fogo.

6.4 Delineamento experimental

O plano do desenho experimental consistiu na montagem de armadilhas nas cinco paisagens, para cada paisagem foram identificadas três (3) pontos de amostragem aleatórios que foram georreferenciados usando o GPS, distânciadas em dez metros entre si em cada ponto teve três (3) quadrículas de cinco metros de lado como tal ilustra a figura 8. Para cada ponto foram montadas 27 armadilhas, 9 armadilhas por quadrícula distânciadas a dois metros e meio. No total foram 81 armadilhas por cada paisagem identificada, o total de esforço de captura foram 405 armadilhas.

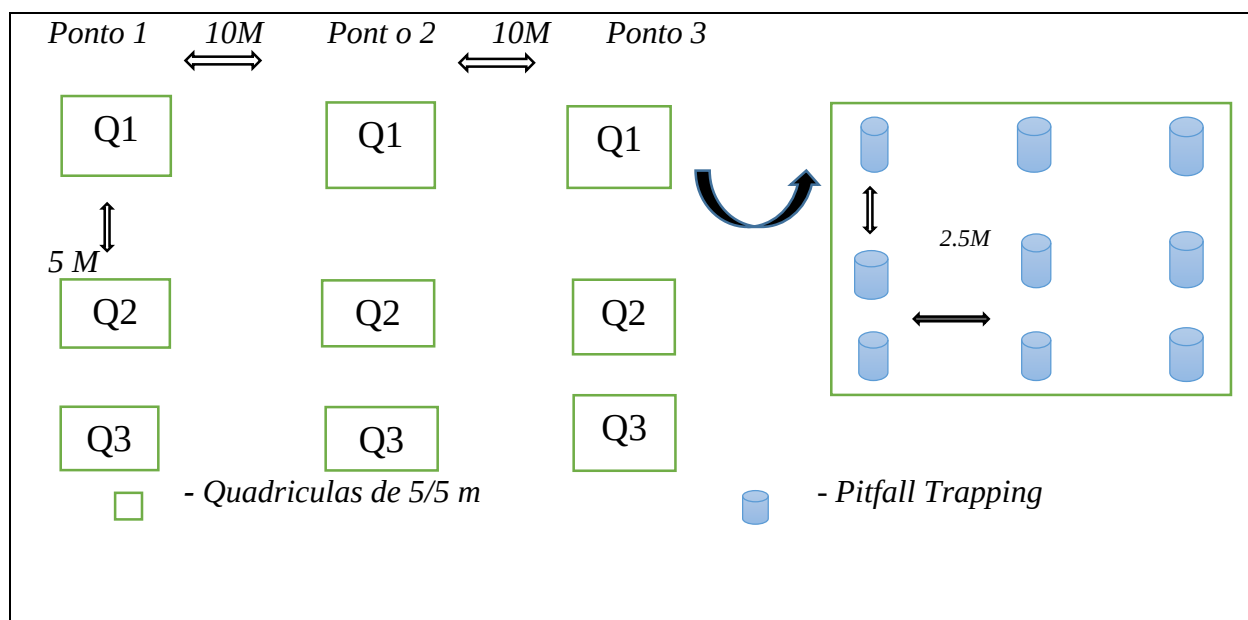


Figura 5: Ilustração do desenho experimental e a disposição das armadilhas.

6.5 Colecta da Macrofauna do solo

O levamento da macrofauna do solo foi realizado no final da época chuvosa, apartir do dia 28 de Março á 2 de Abril durante 6 dias. Armadilha é definido como qualquer equipamento construído de tal maneira que uma vez capturado ou imobilizado o organismo, o mesmo fique retido (Silva & Amaral, 2013). O método de captura do tipo *pitfall trapping* são utilizadas para avaliar a fauna epígea e os indivíduos que actuam principalmente na superfície do solo (Santos *et al.*, 2020).

A instalação das armadilhas consistiu em enterrar recipientes a base de garrafas *pet* de 1.5L com um diâmetro de 8,5 cm que foram cortadas a uma altura de 12 cm de forma que a borda do recipiente ficasse ao nível do solo para garantir que haja sucesso na queda dos organismos (*Figura 6. 1*). Este

processo foi feito com auxílio de uma sonda (*Figura 6. 2*). No total para cada paisagem obteve-se 81 armadilhas e o esforço total de captura foi de 405 armadilhas montadas nas 5 paisagens em função do regime de fogo onde ficaram expostas por 48h. A solução conservante para captura foi a base de detergente neutro líquido e água, devido a presença de formaldeído no detergente que é um óptimo conservante e serve para quebrar a tensão superficial da água impedindo a fuga de certos organismos (Cidade, 2011).



Figura 6: Processo de instalação de armadilhas de Pitfall nas áreas de estudo.

6.5.1 Triagem e Identificação de Macrofauna do Solo

Após o período de exposição das amostras, as armadilhas que continham os organismos foram separados manualmente no campo (*Figura 7. 1 & 2*) e de seguida colocados em recipientes, vedados e etiquetados com a identificação das áreas (*Figura 7. 3*) (Cidade, 2011). Estas amostras passaram pelo processo de acondicionamento dos indivíduos em álcool a 70%, onde foi encaminhado ao laboratório B10 do Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Eduardo Mondlane e identificadas a nível de grupos taxonómicos, ordem, família e espécies (*Figura 7. 4*), o reconhecimento dos táxons se baseou em caracteres morfológicos e em chaves de identificação específica para cada grupo com o uso de lupas binocular, com o auxílio na consulta à materias bibliográficos e pesquisa feitas em acervos de dados disponiveis online como o Biodiversity4all, iNaturalist, Naturdata, BugGuides(<https://naturdata.com/espécies-portugal/taxon/0@animalia:arthropoda:insecta:coleoptera/>; <https://www.gbif.org/pt/species/1088928>; <https://www.biodiversity4all.org/taxa/334606-Micraspis>).



Figura 7: Ilustração dos procedimentos na colecta, triagem e identificação da Macrofauna do solo.

6.6 Análise de dados

Para atender os objectivos definidos neste estudo a análise de dados envolveu uma combinação de vários procedimentos. Inicialmente foi produzido o mapa de distribuição das classes de regime de fogo no ArcMap 10.8, com o produto de MODIS-MCD64A1 a frequência foi obtida através das sobreposições dos mapas de queimadas mediante os procedimentos de somatório mensal por ano para obter as frequências anuais com o auxílio de algumas ferramentas no ArcMap e reclassificados para obter o mapa final de regime de fogo. Em seguida, foi produzido um banco de dados da macrofauna do solo listados e codificados em regime de fogo, quadriculas, transectos e abundâncias das espécies feitos no Software Microsoft Excel.2013 para posterior análise.

Para estimar a diversidade da macrofauna do solo foi considerada a abundância de espécies por pontos de amostragem e por classes o que permitiu obter os índices de diversidade para comparar a composição de espécies nos transectos e nas classes de fogo. Também foi estimada a abundância média por espécies. Davies *et al.* (2012), diz que a abundância é definida como sendo o número total de todos os pontos de amostragem por área para cada espécie ou ordem da macrofauna do solo. Os índices de diversidade e as análises estatísticas foram realizadas no programa R versão 4.4.3 (R Core Team, 2025) . E foram representados em forma de tabelas e os gráficos usando o mesmo programa. O índice Shannon-Winner descrito por Ludwig e Reynold (1988) citado por Leão (2018), é um dos índices mais utilizados para medir a diversidade de espécies que varia de [0-5] e quanto maior for o valor do H' maior será a diversidade, é calculado pela seguinte formula:

- $H' = - \sum p_i . \log p_i$; Onde:

H' = Índice de diversidade

$p_i = n_i/N$, n_i = densidade de cada grupo

$N = \sum$ da densidade de todos os grupos.

- **Equitabilidade de Pielou (J')**: $J' = H/\text{Logn}(S)$; Onde:

J' = índice de equitabilidade

H = índice de Shannon

S = número de grupos;

- **Dominância de Simpson (D')**:

$$D = \frac{\sum n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

Onde:

D' = índice de dominância de Simpson

n_i = número de indivíduos amostrados por ordem

N = número total de indivíduos amostrados

Diversas pesquisas relacionadas à análises de diversidade faunísticas de comunidades utilizam os índices de Equitabilidade de Pielou (J') que é o índice que representa a uniformidade da distribuição dos indivíduos entre as espécies existentes, e a Dominância de Simpson (D') que é o índice utilizado para medir a probabilidade de aleatoriamente coletar dois indivíduos da comunidade e eles pertencerem à espécies diferentes e a frequência relativa (Lima et al, 2016; Becks, 2017). A fim de testar a resposta da macrofauna do solo ao regime de fogo ao longo deste gradiente, a comparação entre as classes de fogo foram feitas por meio dos índices de diversidade separadamente. E se existiam diferenças significativas da diversidade entre os transectos e as classes de fogo, na qual seguiu-se uma sequência dos pressuposto para ao testes estatísticos, usando ANOVA para os dados normais e teste de Kruskal-Wallis para os dados não paramétricos.

7. Resultados

7.1 Regime de Fogo: Padrões espaciais e temporais de fogo (2002-2022)

Na análise espacial e temporal de queimadas foram utilizados dados do sensor MODIS para determinar a frequência de queimadas na área de estudo num período de 20 anos. Verificou-se que a frequência de queimadas varia de 0 a 19 vezes durante 20 anos em estudo, as frequências foram organizadas em 7 classes de frequência de fogo incluindo as áreas em que não houve registo de queimadas no período em estudo e está representada por zero (0). O mapa de distribuição espacial e temporal evidência uma ampla heterogeneidade do regime de fogo ao longo da paisagem.

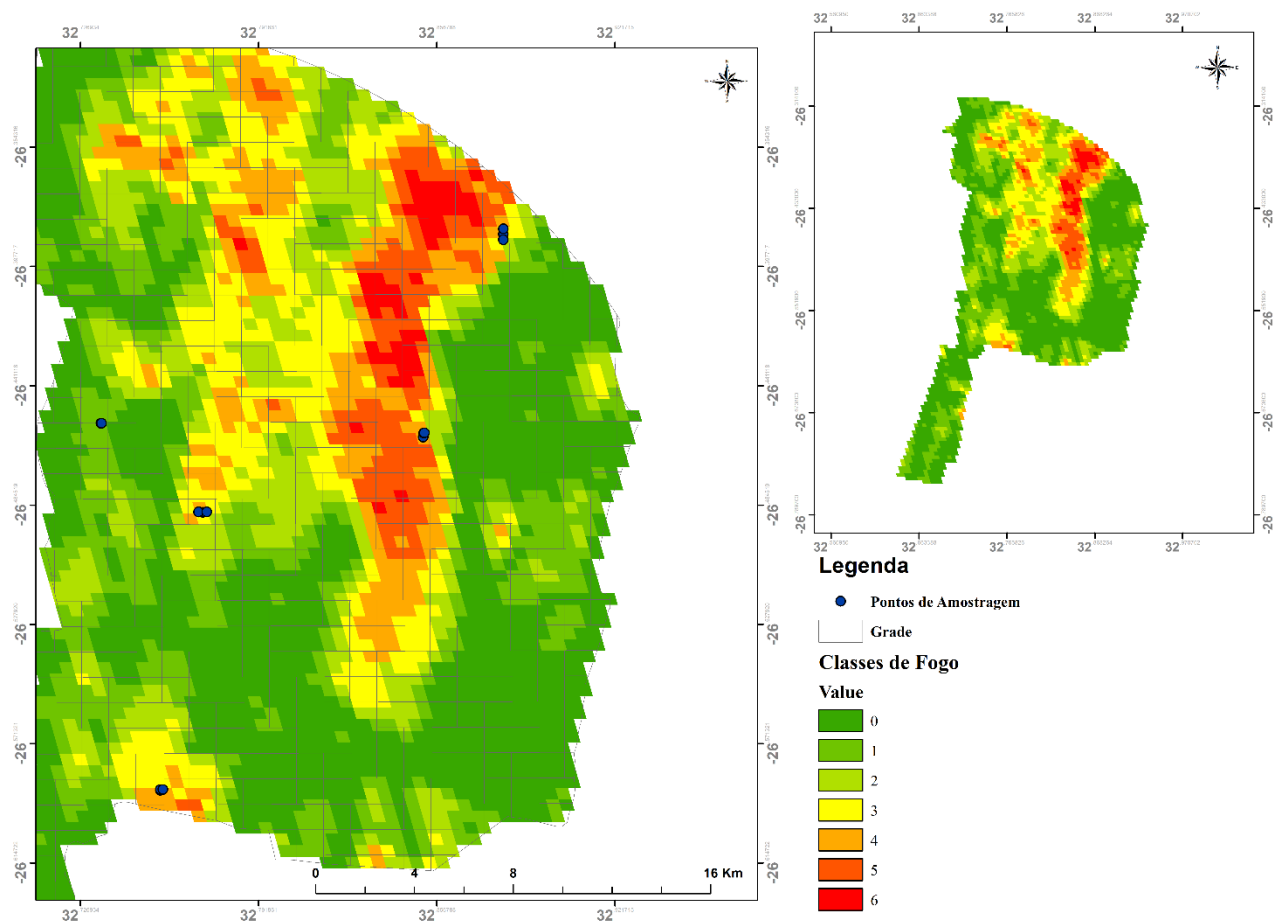


Figura 8: Mapa de distribuição de queimadas no PNAM na série temporal de 2002-2022 com os respectivos pontos de amostragem.

Tabela 1: Área ocupada por frequências das classes de fogo em Km^2 de 2002-2022.

Classe de Fogo	Área_Km2	Porcentagem (%)
0 (Área não queimada)	286.1861	40.79%
1	141.3893	20.15%
2	96.1779	13.71%
3	81.7235	11.65%
4	52.6025	7.50%
5	32.8447	4.68%
6	10.6396	1.52%
TOTAL	701.5636	100.00%

A tabela 1, apresenta as áreas por Km^2 correspondentes as diferentes classes de fogo na área de estudo representado no mapa de distribuição de queimadas (Figura 8). Fazendo uma análise das áreas ocupadas por cada classe de fogo exceptuando a classe 0 que teve a maior área ocupada 40.79%, constatou-se que a classe 1 apresenta maior área e a menor área é verificada na classe 6, as quais ocupam cerca de 20.15% - 1.52% ($141.3893 - 10.6396 Km^2$), respectivamente. Estes dados mostram área reduzida da área queimada com o aumento da frequência de fogo.

7.2. Composição, riqueza e abundância da Macrofauna do Solo

No total foram colectados 6.305 indivíduos dos quais estão distribuídos em 13 ordens, 25 famílias e sub-famílias, 45 espécies.

Tabela 2: A abundância total de indivíduos, riqueza e principais grupos da macrofauna do solo colectados nos diferentes regime de fogo (Classe de fogo).

Regime de Fogo	Abundância (Total)	Riqueza	Grupos Taxonômicos
1 Classe de Fogo	678	29	Coleoptera, Dermaptera, Hymenoptera, Isoptera, Orthoptera, Scolopendromorpha, Scorpiones.

2 Classe de Fogo	4336	34	Blattoptera, Coleoptera, Hymenoptera, Isoptera, Lepidoptera, Orthoptera, Scolopendromorpha, Scorpiones.
3 Classe de Fogo	1302	25	Blattoptera, Coleoptera, Hemiptera, Hymenoptera, Isoptera, Orthoptera, Phasmotodea, Scolopendromorpha.

A composição da macrofauna do solo, observou-se que a abundância e riqueza de espécies foi maior nas áreas com 2 classes de fogo distribuídos em 7 ordens, enquanto que a classe 1 registou maior riqueza e menor abundância em relação as áreas com 3 classe de fogo. Os grupos taxonômicos da macrofauna do solo dominantes foram: Hymenopteras, Coleopteras, Orthopteras, Isopteras e Scolopendromorpha, embora esta última foi menos abundante, as ordens mais ricas foram os coleopteros, as Orthopteras e as Hymenopteras. Verificou-se que algumas ordens apresentaram ocorrência exclusiva em determinadas classes de fogo, a ordem Dermaptera foi registada apenas na classe 1, Lepidoptera apenas na classe 2 e Hemiptera e Phasmotodea foi restrita na classe 3. Por outro lado, as ordens Blattoptera e Scorpiones estiveram presentes na maioria das classes, excepto na classe 1 e a classe 3.

A ANOVA dos testes estatístico para a abundância média por classes de fogo indicou a existência de diferenças estatísticas nas 3 classes de fogo. Os testes de comparação de medias apontou para diferenças significativas entre as classes 2 e 1 ($p < 0.05$) e as classes 1 e 3 ($p < 0.05$). O pares de classes 2 e 3 não diferiram significativamente.

A composição das espécies da macrofauna do solo, mostrou uma maior abundância média de espécies da ordem Hymenopteras (Formigas) dos géneros *Dorymyrmex*, *Solenopsi* e *Camponotus* que apresentaram maior abundância média, e espécies com abundância moderada foram: *Hodotermes mossambicus*, *Garreta nitens*, *Heteronites castelnaui*, *Aiolopus strepens*, *Dicrhomorpha veridis*, *Acanthogrillus fortipes*, *Gymnopleureus human*, *Kheper nigroaeneus*, *Gryllus bimaculatus* e *Lampyrus sp*, pertencentes as ordens Isoptera, coleoptera, e orthoptera. Algumas espécies com baixa abundância média identificadas foram: *Maramis rufolineatus*, *Rhodometra sacraria*, *scolopendra morsitans* e a *Forficula senegalensi*.

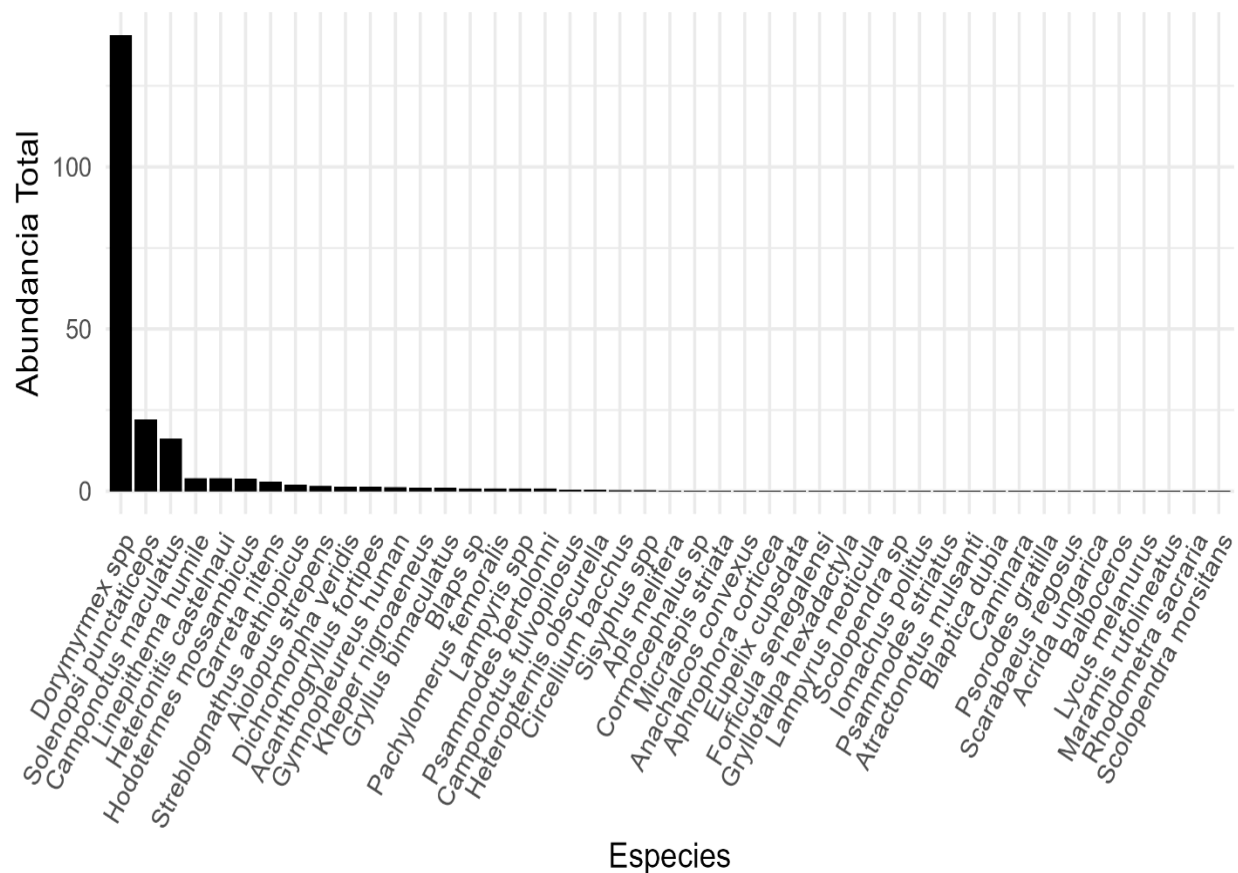


Figura 2: Gráfico da abundância média de indivíduos por espécies.

7.3 Análise da diversidade da Macrofauna do solo ao longo do gradiente de regime de fogo

A diversidade biológica analisada por meio dos cálculos dos índices de diversidade que foram estimados os valores de diversidade de Shannon (H'), dominância de Simpson (D') e a Equitabilidade de Pielou (J'), ao nível do transecto tanto ao nível de classes de fogo.

Tabela 3: Valores de índices de diversidade (Shannon H' , Simpson D' e Equitabilidade de Pielou J') da macrofauna do solo por transecto, em cada classe de regime de fogo.

Regime de Fogo	Transecto	H'	D'	J'
1 Classe de Fogo	T1	2.385	0.86	0.323
	T2	1.918	0.763	0.666
	T3	2.152	0.824	0.866
2 Classe de Fogo	T1	1.569	0.712	0.318

3 Classe de Fogo	T2	0.687	0.251	0.313
	T3	0.729	0.258	0.437
	T1	1.477	0.702	0.428
	T2	1.498	0.702	0.52
	T3	0.495	0.166	0.45

A ANOVA, para os índices de equitabilidade nos transectos não apresentam diferenças estatísticas ($p=0.686$), mas para o índice de shannon a ANOVA revelou diferenças entre os transectos. E o índice de simpson que foi baseado no teste de Kruskal-Wallis (por ser um dado não paramétrico), os transectos não diferiram significativamente entre si e as diferenças são ilustrados nos boxplots das figuras 10 , 11 e 12.

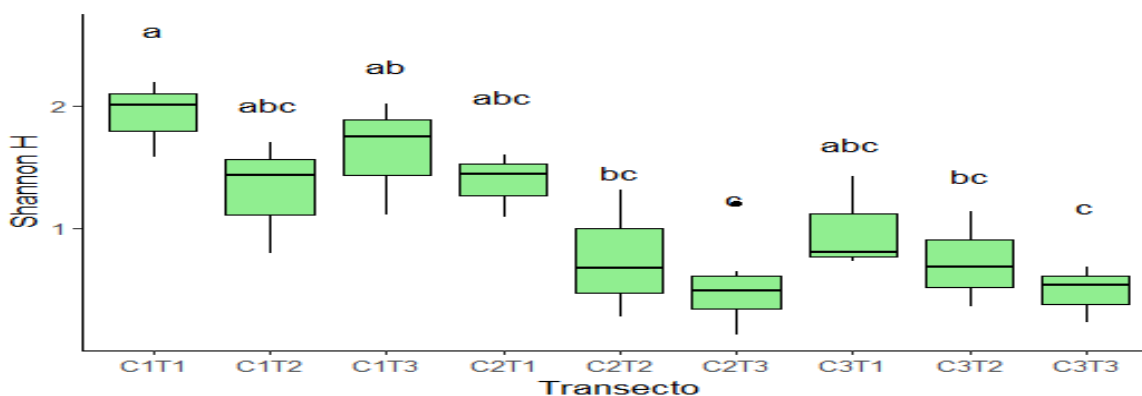


Figura 10: Boxplot do índices de Shannon (H') comparando as diferenças entre os transectos.

Os plots da figura 10 mostram quais transectos variaram entre si, e o C1T1 diferiu para o C2T3 e C3T3 e entre os transectos da classe 1 não apresentaram diferenças entre si, os transectos da classe 2 o C2T3 é que foi diferente e o mesmo é visto nos transectos da classe 3 o C3T3 é que diferiram (transectos que compartilham letras combinadas indicam que não diferem significativamente de mais de um transecto e os transectos com letras isoladas indicam que diferem).

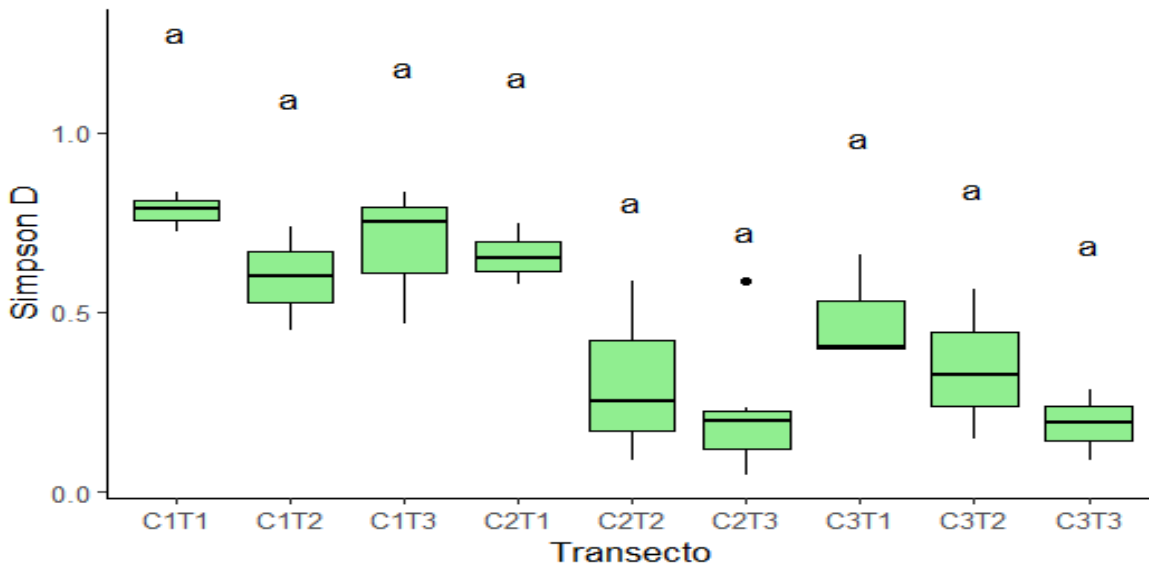


Figura 11: Boxplot do índice de Simpson (D') comparando as diferenças entre os transectos.

As comparações individuais por transectos não foi significativo, ou seja o teste de dunnTest não demonstrou grandes diferenças significativas nas comparações múltiplas, os boxplots estão em único grupo (a).

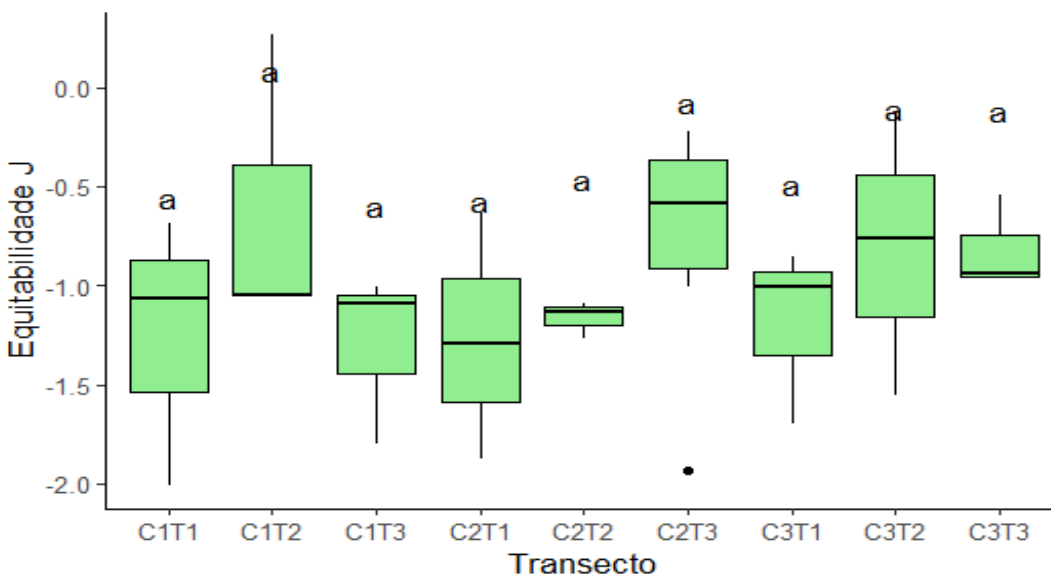


Figura 12: Boxplot do índice de Equitabilidade de Pielou (J') comparando as diferenças entre os transectos.

Diferente do índice de Shannon a equitabilidade de Pielou (J') não apresentou uma diferença significativa entre os transectos ($p=0.686$; $p>0.05$), mesmo que aparentemente os gráficos apresentam variações na forma entre os transectos.

Tabela 4: Índices de diversidade (Shannon, Simpson e Equitabilidade Pielou) da macrofauna do solo nos diferentes regimes de fogo (Classe de fogo).

Regime de Fogo	Shannon(H')	Simpson(D')	Equitabilidade(J')
1 Classe de fogo	2.548	0.871	0.815
2 Classe de fogo	1.074	0.432	0.407
3 Classe de fogo	1.387	0.582	0.523

O índice de Shannon (H') por classe variou de [1.38-2.54], a classe 1 configurou como a de alta diversidade, seguida da classe 3 e por fim a área com 2 classes de fogo. Os testes de TukeyHSD revelaram que essas classes apresentaram diferenças significativas entre as classes como ilustrados na Figura 13.

Para o índice de Simpson(D') que mede a dominância dos taxons, a Classe 1 apresentou melhor resultado e diferiu com a classe 2 e 3 ($p=0.007$; $p=0.006$), mas não foram observadas diferenças estatísticas na classe 2 e 3 ($p=0.8$), na qual foi caracterizada por serem áreas com pouco dominância Figura 14.

Quanto ao índice de Equitabilidade de Pielou (J') a classe na qual apresentou valores maiores do índice, ou seja foi mais equitativa em termos de distribuição de indivíduos por espécies é a com 1 classe de fogo, seguida da classe 3 e por fim a menos equitativa foi a de 2 classe de fogo.

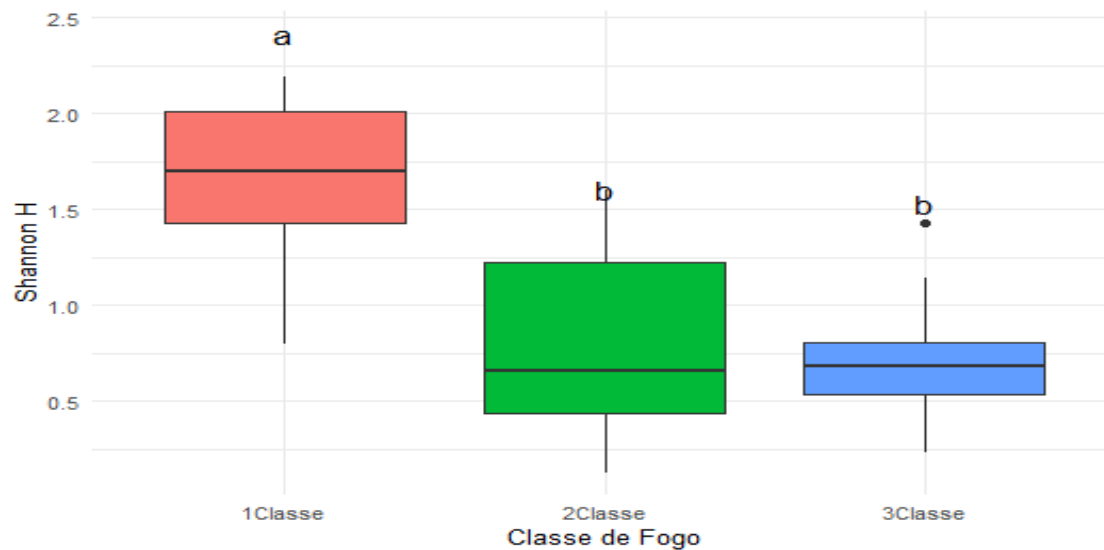


Figura 13: Comparação da diversidade de Shannon (H') entre as classes de regime de fogo.

A figura 13, resulta de uma comparação estatística para aferir quais classes diferem entre si, a Classe 1 (**a**) apresentou diferenças significativas com Classe 2 e Classe 3, porém a Classe 2 e Classe 3 não foram observadas diferenças (**b e b**) .

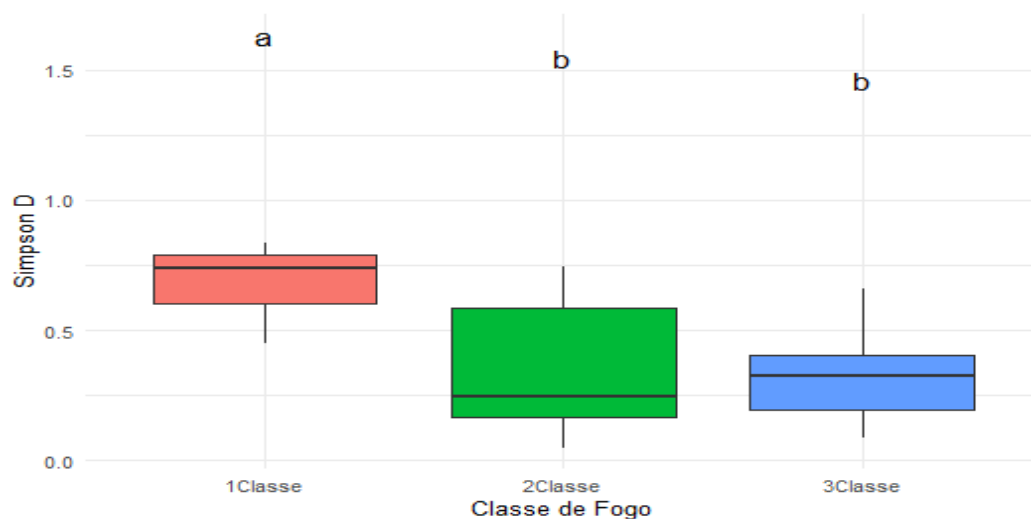


Figura 14: Comparação do índice de simpson (D') entre as classes de regime de fogo.

O mesmo foi verificado para o índice de Simpson em que a Casse 1(**a**) diferiu com a Classe 2 e a Casse 3 (**b e b**) e estas últimas classes não foram distintas.

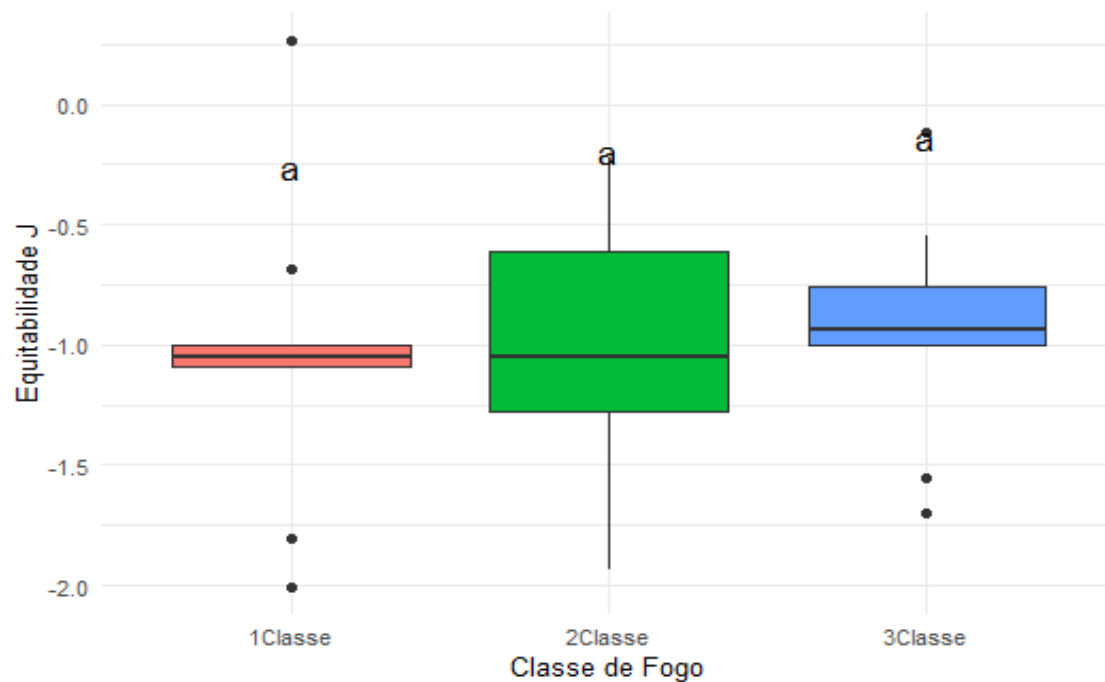


Figura 15: Comparação do índice de Equitabilidade de Pielou (J') entre as classes de fogo.

Para o índice de Equitabilidade de Pielou (J'), a ANOVA dos dados não mostrou diferenças de valores entre as classes ($p > 0.05$).

8. Discussão

8.1 Regime de fogo: Frequência de fogo

Na análise espacial e temporal de queimadas na área de estudo para o período compreendido entre 2002 á 2022, verificou-se que a frequência foi de 0 á 19 vezes e classificados em 7 classes de frequência de fogo. Para Steel *et al.* (2023), os pesquisadores escolhem quais atributos ou componentes do regime de fogo á avaliar, quais métricas de diversidade aplicar a pirodiversidade de acordo com o interesse de estudo. As abordagens mais predominantes é medir a variação em um único componente do regime de fogo como a frequência, e foram vistos em estudos feitos por Brown e York (2017); Taylor *et al.* (2016) ou outras componentes como a severidade tal como estudos feito por Steel *et al.* (2019); Tingley *et al.* (2016) propuseram assim abordagem de um único componente que assume implicitamente que este aspecto do histórico de fogo é o principal impulsionador da biodiversidade para ser testada a pirodiversidade. Vale ressaltar que alguns factores adicionais além do histórico de fogo e escalas evolutivas podem ser importantes a considerar em estudos de pirodiversidade, como também as condições ambientais tais como o clima, topografia do solo, alterações antrópicas e as interações com outros distúrbios e que na verdade o fogo deve ser tratado como um simples factor limitante junto com os nutrientes do solo (Browman *et al.*, 2016).

Entretanto, Utui (2021) destaca que o fogo possui uma função ecológica importante na saúde da vegetação do PNAM, embora as queimadas precisam ser realizadas e geridas de forma a manter uma frequência adequada para que haja uma boa resposta e coexistência de várias espécies.

Na tabela 1, notou-se o decréscimo de áreas queimadas por Km^2 com o aumento da frequência de fogo, a mesma tendência foi observado em estudos similares por Maúnze (2016) e Joana (2023), na qual o estudo consistiu na análise temporal e espacial de fogo usando imagem satélites na Reserva Nacional de Gile e a caracterização e modelação de regimes e riscos de queimadas.

8.2 Composição, riqueza e abundância da macrofauna do solo

Os géneros da macrofauna do solo mais abundantes são: *Dorymyrmex*, *Solenopsi* e *Camponatus* pertencentes a ordem das Hymenopteras. A abundância dessas espécies deve-se ao facto da grande sensibilidade em perceber as alterações ambientais e serem relativamente fáceis de colectar e estas espécies são encontradas em ambientes degradados e com elevada incidência de luz solar, e foi observado e pode associar-se ao tipo de habitat e vegetação das áreas na colecta das amostragem (Baretta *et al.*, 2011). Esses resultados convergem com os obrservados por Maravalhas e Vasconcelho

(2014) e Formigas *et al.* (2025), na qual avaliam este grupo de espécies e também mostram que a ordem Hymenoptera é a mais dominante em áreas que ocorrem queimadas.

Na pirâmide de fluxo de energia os Hymenópteros (formigas) possuem uma importante actuação, tendo em conta que agem na ciclagem de nutrientes e no controle da população de outros invertebrados por meio do predatismo e são consideradas entre as maiores predadoras de outros insectos, para além de contribuírem na dispersão de sementes (Maravalhas e Vasconcelho, 2014).

As queimadas ao removerem a biomassa acima do solo favorecem na abertura do dossel e a composição de gramíneas, assim sendo, a vegetação que é exposta a luz e temperatura favorecem no desenvolvimento das colônias de formigas (Araujo e Ribeiro, 2005). E fornecem nichos essenciais para a nidificação de formigas podendo ser de grande valor como substituto de nicho para a biodiversidade local (Formigas *et al.*, 2025).

A ordem dos coleópteros foi representada por mais de vinte espécies, nas quais as que tiveram uma maior abundância foram: a *Garreta nitens*, *Gymnopleureus human*, *Kreper nigroaeneus*, *Blasp sp*, *Pachylomerus femoralis*, *Lampyrus sp*, *Psammodes bertolonni*, *Anachalcos corticea*, *Psorodes gratilla* e a *Cercellium bacchus*. A cobertura vegetal e o clima na época favorecerem um óptimo habitat a este grupo, porém a flutuação do número de espécies pertencentes a esta ordem pode ser atribuído a capacidade do mesmo em explorar nichos trópicos específicos (Becks, 2017).

Os representantes do grupo coleoptera são os besouros, vaga-lumes e pirilampos, nesses últimos encontra-se a luminescência que é obtida de uma reação química e estes pertencem aos grupos funcionais como Saprófagos, fitófagos e predadores, e com alto potencial de fornecer serviços ecológicos valiosos ao ecossistema terrestre (Barreta *et al.*, 2011; Souza *et al.*, 2015).

A maior abundância dos Coleópteros foi registada na Classes 1 e 2, alguns elementos que condicionaram a adaptabilidade dos besouros sendo que estas áreas apresentaram baixa frequência fogo, pode ser explicada ou relacionada aos factores ambientais a temperatura, humidade do solo e a luminosidade, o que Formiga *et al.* (2025) refere que esses elementos influenciam tanto quanto na seleção de habitats pelos besouros como na distribuição desse grupo nos diferentes perfis do solo.

O grupo de Orthoptera foi a terceira ordem com mais abundância de espécies nas 3 classes de regime de fogo. As espécies com maior abundância média foi registada por *Aiolopus strepens*, *Dichormorpha veridis* e *Acanthogryllus fortipes*. A família Gryllidae é uma espécie rica e amplamente distribuída e

estas estão diretamente relacionado com as constantes alterações provocadas pela ação antrópica e nas áreas com interferências de fogo (Massad *et al.*, 2024).

As Lepidopteras por ser um grupo móvel, só foram indetificados as espécies em estado larval e foi exclusiva para a área com 2 classes de fogo. Alguns estudos como Gaget *et al.* (2020) relatam que as borboletas tendem a recuperar-se ou seja são resistentes ao fogo e promovidas por queimadas frequentes.

A classe de *Quilopodes* representado por espécies do género *Scolopendra* tiveram ocorrência nas três classes de regime de fogo e as Blattopteras foram observadas nas áreas com 2 e 3 classes de fogo, estes organismos são normalmente influenciados pelo fogo, todavia, essas alterações na abundância e composição são influenciados pelo facto de poderem recolonizar as áreas com ocorrência de queimadas frequentes (Becks, 2017).

Foi identificada nas 3 classes de regime de fogo a espécie *Hodotermes mossambicus* da ordem de Isoptera na qual também apresentou uma abundância moderadamente média entre as classes. Davies *et al* (2012) apontam que as assembleias de cupins apresentaram altos níveis de resistência ao fogo, com pouca diferença na resposta entre os regimes de fogo. Os cupins alteram a composição e a hidrologia do solo e são invertebrados decompositores dominantes em florestas tropicais e savanas desempenhando um papel importante na ciclagem de nutrientes (Davies *et al.*, 2012).

Para a ordem Scorpiones foi encontrada a espécie *Iomachus politus* nas classes 1 e 2, e acredita-se que seja pelo facto de ser altamente sensível as queimadas embora a ordem scorpiones possa ser variável entre as espécies (Formigas *et al.*, 2025). A redução da biomassa leva a respostas comportamentais como fuga após-fogo embora existam algumas espécies de escorpiões que são resilientes, apesar da menor abundância detas espécies é importante destacar o papel destes organismos, que desempenham um papel na ciclagem de nutrientes e na sua distribuição no perfil do solo e interferem na decomposição dos resíduos orgânicos, os hábitos de locomoção das minhocas, proporcionando a formação de túneis, o que facilita na locomoção de outros espécies da macrofauna do solo (Barreta *et al.*, 2011).

As Hemipteras representados pelas espécies *Eupelix cupsdata* e a *Aphrophora corticea* mais conhecidos com percevejos ou cigarras, estas espécies foram exclusivas na área com 3 classe de fogo e o mesmo foi visto para a *Maramis rufolineatus* pertencente a ordem das Phasmotodea, que são mas

conhecido como bicho-pau ou phasmida, provalmente essa exclusividade poderá ter sido influenciada pela preferência do tipo de habitat e pelos factores ambientais encontrados na área (Araujo & Ribeiro, 2005).

8.3 Diversidade da Macrofauna do solo ao longo do gradiente de regime de fogo

A utilização conjunta dos índices de diversidade fornecem diferentes perspetivas sobre a estrutura da comunidade da macrofauna do solo. O índice de Shannon expressa a diversidade em função da riqueza e da abundância relativa dos grupos taxonômicos, que é sensível ao número de espécies quanto a sua equitatividade, por sua vez o índice de Simpson enfatiza o peso das espécies dominantes, sendo menos influenciadas por espécies raras enquanto a Equitabilidade indica quão uniforme os indivíduos estão distribuídos entre as espécies presentes (Barreta *et al*, 2011). Dessa forma, essa abordagem é particularmente relevante no contexto da hipótese de pirodiversidade, pois não só indica se há mais ou menos espécies em cada classe de regime de fogo mas também como estas espécies estão organizadas em termos de abundância média, o que poderá refletir a complexidade das respostas das espécies da macrofauna do solo ao regime de fogo.

Através dos índices de Shannon, Simpson e Equitabilidade de Pielou, na qual foram calculados por transectos e classes de fogo, em geral foi observado que a diversidade entre os transectos foi mas variável para as classe 2 e 3 o que indicou que existe uma heterogeneidade entre os transectos reflectindo respostas distintas das espécies de macrofauna, mas em contrapartida observou-se que independentemente da frequência de fogo a distribuição dos indivíduos entre as espécies manteve-se semelhante e ao nível das classes de fogo também mostrou um padrão semelhante dos transectos, e o índice de simpson mesmo ter indicado diferenças no teste de Kruskal-Wallis, não foi possível observar o mesmo no teste de múltiplas comparações, pois, não identificou diferenças nos pares entre os transectos sugerindo assim que há aumento da variabilidade entre os transectos o que dificulta identificar as diferenças mínimas.

O menor índice de diversidade foi verificada para a classe 2, o que pode estar relacionado com a super abundância de espécies de Hymenopteras em comparação com as outras duas classes, que terá influenciado diretamente no menor índice de diversidade para essa classe. Formiga *et al*. (2025), consideram que os menores valores representam a maior dominância de um grupo de espécies em relação aos demais. Contudo, os maiores índices de diversidade para a classe 1 e 3, também podem estar relacionados com a maior distribuição das espécies encontradas nessas áreas.

8.4 Resposta da Macrofauna do solo á pirodiversidade

A modelagem da resposta da macrofauna do solo às propriedades do mosaico de regime de fogo permite afirmar que as espécies da macrofauna do solo não responderam positivamente a uma diversidade de classes de fogo. Outros estudos mostram que grupos individuais de espécies da macrofauna do solo são fortemente relacionados ao regime de fogo ou com outras variáveis como a vegetação e o clima (Davis *et al.*, 2023). A hipótese intuitiva de que a pirodiversidade gera a biodiversidade é carregada de pressupostos que precisam de ser cumpridas antes de se puder ver uma relação clara (Davis *et al.*, 2018). Tendo em conta que o processo de amostragem ocorreu pelo menos dois anos após a última queimada, é improvável ter as diferenças observadas da macrofauna do solo causadas por um factor directo das frequências das classes de fogo, não obstante, essas diferenças podem ser observadas ao longo das variações do microclima nas diferentes áreas de estudos.

Os resultados deste estudo revelam que as respostas por espécies que compõem a macrofauna do solo variam acentuadamente entre os táxons. A abundância de algumas espécies pertencentes as ordens Hymenopteras, Isopteras e Scolopendromorpha aumentam com a alta frequência de fogo, enquanto espécies das ordens das Dermapteras e Coleopteros mostram uma resposta oposta e as restantes ordens pela sua pouca riqueza de espécies foram identificadas com nenhuma resposta ao fogo. Portanto, o apoio a hipótese de pirodiversidade em outros estudos foi misturado também e baseado entre os grupos taxonômicos e espécies da macrofauna do solo (Davies *et al.*, 2012; Marvalhas & Vasconcelhos, 2014; Tingley *et al.*, 2016) e alguns esforços para criar a pirodiversidade não aumentaram a diversidade de espécies (Andersern *et al.*, 2014, Farnsworth *et al.*, 2014).

As descobertas de Baele *et al.* (2018) citado por Gaget *et al.* (2020) apoiam estudos que sugerem que o regime de fogo pode ter um efeito maior sobre espécies de formigas (Hymenopteras) e cúpins (Isopteras) em savanas, igualmente mostrados por Doamba *et al.* (2014) na qual citam que estes dois grupos sobrevivem melhor em condições pós-fogo em relação aos outros grupos e essa tolerância é explicada através do estabelecimento preferencial de nichos em solos cobertos e descobertos e a capacidade de viverem em tocas profundas.

Davies *et al.* (2012) observaram e indicaram pouco suporte empírico geral de cupins para a hipótese e apontam no formato na qual foi analisado uma vez que o estudo utilizou regimes de fogo de longo prazo, uma ampla gama de tratamentos de fogo e uma ampla variedade de métodos de amostragem, que lhes permitiu avaliar os efeitos da pirodiversidade em toda assembleia de cupins.

A pesquisa foi implementada na época chuvosa. E segundo Souza *et al.* (2017) há um aumento na macrofauna do solo neste período e que é aconselhado ser colectado no fim da estação chuvosa quando os factores climáticos e a humidade ainda não são limitantes, provalvemente este tenha sido um dos principais influenciadores na resposta da macrofuana do solo nas áreas dos pontos amostrados, uma vez que existe uma alteração sutil no microclima em qual influência na diversidade dos organismos do solo. É necessario referir que as respostas da macrofauna do solo estão associadas a variação e que dependem fortemente da frequência e estação do fogo. As diferenças nas formas como a pirodiversidade é medida e considerada também contribui para o suporte equívoco da hipótese de pirodiversidade-biodiversidade (Gaget *et al.*, 2020). Este trabalho é o ponto de partida para a elaboração de projetos que visem conservação e a integridade do solo e dos regimes de fogo, visto a sua importância, mais trabalhos como esse devem ser realizados para ampliar o banco de dados a cerca dessa hipótese, além de servir como subsídio para o conhecimento da biodiversidade das mais diversas áreas, bem como a elaboração e a análise de pesquisas científicas.

9. Conclusão

A pirodiversidade foi definida apenas com um único componente de regime de fogo: a sua frequência. A diversidade estimada pela riqueza de espécies e pelos índices de diversidade, este estudo sugere pouco apoio empírico geral da macrofauna do solo para a hipótese de que a alta pirodiversidade proporciona uma alta biodiversidade, porém é necessário que se considere outros factores ambientais ao testar a hipótese que possam influenciar na diversidade da macrofauna do solo.

Avaliar uma resposta geral da macrofauna do solo ao regime de fogo é complicado, principalmente devido as diferenças entre os grupos taxonômicos da macrofauna aos diferentes regimes de fogo. Este estudo explorou uma resposta geral das espécies da macrofauna do solo ao regime de frequência de fogo, e apesar do resultado observado mostrar uma tendência e resistência notável a resposta positiva em alta de algumas espécies da macrofauna do solo e uma importância limitada da pirodiversidade para a conservação. Contudo, a macrofauna do solo desempenha várias funções importantíssimas para o equilíbrio do ecossistema e são organismos reconhecidos como bioindicadores da qualidade ambiental.

10. Limitações e Recomendações

A recolha de dados no final do período chuvoso interferiu no processo da amostragem não sendo possível explorar as áreas mais pirodiversas, porque estavam inundadas.

Mais estudos devem ser conduzidos para explorar o papel de outros componentes do regime de fogo, juntamente com os factores do microclima na área em estudo. Como também, a inclusão de classes de Pirodiversidade com foco em certos grupos funcionais testando a diversidade funcional.

Os gestores do parque podem promover uma maior diversidade de frequências queimadas nos planos de manejo de fogo, porém é preciso que as respostas a nível dos organismos do solo recebam consideração ao determinar se as actuais estratégias de manejo de fogo do PNAM são adequadas ao longo prazo para a conservação da biodiversidade.

11. Referências Bibliográficas

- Aço, L.Z., Miller, D.E. J., Ponisio, C.L., Tingley, W.M., Wilkins, K., Blakey, R., Hoffman, K. M., e Jones, G. (2023). Um Roteiro a Ciencia da Pirodiversidade. *Journal of Biogeography*, 00:1-14;
- ANAC. (2021). Planos de Gestão para o Parque Nacional de Maputo para o Período 2021 - 2031. iv+76págs;
- ANAC. (2023). Plano de manejo para o periodo 2023-2032. V+90pp;
- Andersen, A.N., R.R., Ribbons, Pettit, M e C.L, Parr. (2014). Queimando para a biodiversidade: comunidades de formigas altamente resilientes respondem apenas a regimes de fogo fortemente contrastantes nos trópicos sazonais da Austrália. *Revista de Ecologia Aplicada*, 51, 1406–1413;
- Araújo, E.A. e Ribeiro, G.A. (2005). Impactos no Fogo sobre a Entomafauna do solo em Ecossistema Florestais. *Natureza & Desenvolvimento*, V.1. N.1, p. 75-85;
- Backes, A. M. (2017). *Diversidade da Macrofauna Epifedafica em diferentes Usos do Solo na Área Experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul*. Tese de Licenciatura, Campus Cerro Largo, UFFS;
- Barreta, D., Segat, C.J. Santos, J e Germania, V.E. (2011). Fauna Edáfica e Qualidade do Solo, *ResearchGate*, Topicos Ci. Solo, 7:119-170;
- Bowman, D.M.J.S., Gorge, L.W.P. Higgins, F., Murphy, B.P. (2016).A Pirodiversidade é o acoplamento de biodiversidadee dos regimes de fogo nas teais alimentares. *The Royal Society*. Fil. Trans. R.Soc. B 371: 20150169;
- Catanozi, G. (2010). *Análise Espacial da Macrofauna Edáfica sob Diferentes Condições Ambientais dos Trópicos Úmidos*. Tese de Mestrado. 160pp.Campinas, Universidade Estadual de Campinas;
- Chuma, M. (1999). *Estudo da vegetação e herbivoria através da instalação de quadriculas definitivas na reserva especial de maputo*. Tese de Licenciatura. 111pp. Maputo, Universidade Eduardo Mondlane;

- Cidade, N.P.M. (2011). *Riqueza e Abundancia de Formigas (Hymenoptera: Formicidae) em Diferentes Classes de Solo em uma Área de Savana Proxima de Boa Vista, RR*. Dissertação de Mestrado. 55pp. Boa vista, Universidade Federal de Roraima;
- Da silva, A.B. e Beltrão, N.E.N.(2021). Metodologias de Sensoriamento remoto para analise de queimadas com base em índices espectrais e diagnosticos de severidade. *Ciencia Geografica-Bauru*. XXV-Vol.XXV-(3).
- Davies, B.A., Eggletonz, P. Rensburg, V. Berndt, J. Parr, C.L. (2012). A hipotese da pirodiversidade: um teste com assembleia de cupins de savana. *Journal of Applied Ecology*, 49, 422-430.
- Davis, H., Ritchie, G.E., Avitabile, S., Doherty, T., Nimmo, G. D. (2018). Testing the assumptions of the Pyrodiversity begets biodiversity hypothesis for termites in semi-arid Australia. *Royal Society Open Science*;
- Doamba, S. M. W. F., Savadogo, P e Nacro, B. H. (2014). Effects of burning on soil macrofauna in a savanna-woodland under different experimental fuel load treatments. *Applied Soil Ecology*. 81 (2014) 37-44;
- DNAC. (2009). Plano de Gestão da Reserva Especial de Maputo, 2010-2014. vi + 108pp;
- Farnsworth, L. M., Nimmo, D.G., Kelly, L. T., Andrew, F. B. P e Clarke, M. F. (2014). A pirodiversidade gera diversidade alfa, beta ou gama? Um estudo de caso usando répteis do semi-árido australiano. *Diversity Distrib. John Wiley & Sons Ltda*, (2014)20,663–673;
- Fereira, C.B. (2019). *Impactos do fogo controlado na vegetação e macrofauna edáfica de uma área florestal*. Tese de Licenciatura.42pp. Aveiro, Universidade de Aveiro;
- Formiga, L.D.A.S., M.V.P, Gonçalves., C.B., Da Conceição, R.S., Furtado, M.R.A.C., Silva, L.V.S.O., Melo, Costa, D.C e C.L. Franco. (2025). Impact of fire on edáfic macrofauna in a cerrado area in the municipality of São João do Sóter – MA. *Revista de Geociência do Nordeste*, Caicó, v.11, n.1, (Jan-Jun) p.130-139;
- Francês, B.J., Murphy, B.P e Bowman, D.MJS. (2024). Promover a disponibilidade ideal de habitat através da manutenção mosaicos de queima de granulação fina: um estudo de modelagem em uma área australiana floresta temperada semiárida. *Fogo*, 7, 172;

- Gaget, E., Parr, C.L e C, Sirami. (2020). Efeitos da frequência de incêndios na diversidade e composição de borboletas da savana: um estudo preliminar. *Koedoe*,62(1), a1617;
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). (2003). Sensor MODIS: Uma Abordagem Geral.
- Joana, M.E. (2023). Caraterizção e modelação do regime e risco de queimadas nas províncias de Zambezia, Niassa, Nampula e Cabo Delgado. *Tese de Licenciatura*.74pp.Maputo, Universidade Eduardo Mondlane.
- Jones, G. M. e Tingley, M. W. (2021). Pyrodiversity and biodiversity: A history, synthesis, and outlook. *Diversity and Distributions*. 2022;28:386-403;
- Kelly, L. T. e Brotons, L.(2017). Usando o fogo para promover a biodiversidade. *Ciência*, 355, 1264-1265;
- Latorre, M. L., Anderson, L. O., Shimabukuro, Y. E e Junior, O. A. C. (2003). Sensor MODIS: Características Gerais e Aplicações. *Espaço & Geografia*, Vol.6, No 1 (2003), 91:121;
- Leão, A. F. (2018). *Diversidade de Coleopteros em Sistemas Florestais no Municipio de Curitiba*, SC. Tese de Licenciatura. 72pp. Curitiba, Universidade Federal da Santa Catarina;
- Libonati, R., DaCamara, C., Setzer, W.A., Morelli, F., Melchiori, A.E., Cândido, P.A e De Jesús, S.C. (2015). Validating MODIS burned area products over Cerrado region. *Remote Sensing of Environment*, 114, 831–843;
- Lima, M.S.C.S., Souza, C.A.S., e J. Pederassi. (2016). Qual Índice de Diversidade Usar?. *Cadernos UniFOA*, Volta Redonda, n. 30, p. 129-138;
- Manhiça, M. A. Nhalevilo, A. E. e Antunes, C. S.(2020). Reserva Especial de Maputo. *Revista Ciência Elementar*, V8(3):045;
- Maravalhas, J e Vasconcelos, H.L. (2014). Revisitando a hipótese da pirodiversidade-biodiversidade: regimes de fogo de longo prazo e a estrutura das comunidades de formigas em um hotspot de savana neotropical. *Revista de Ecologia Aplicada*, 51, 1661–1668;

- Martin, R., & Sapsis, D. B. (1992). Fires as agents of biodiversity: Pyrodiversity promotes biodiversity. *In Proceedings of the conference on biodiversity of Northwest California Ecosystems*;
- Massad, T.J., Abrão, O.J., António, H., Checheno, A., Soares C., Tenente, B., André, A., Félix Mundoza, D., Stalmans, M.E., Gaynor, K.M., Comissário Júnior Mandlate, L., Rödel, M.O., e Naskrecki, P. (2024). Respostas de todo o ecossistema ao fogo e aos grandes mamíferos herbívoros numa savana africana. *Biotropica*, 00 e13338;
- Maúze, C.R. (2016). *Análise Espacial e Temporal de Queimadas usando Imagens Satélite na Reserva Nacional do Gilé (de 2004 a 2014)*. Tese de Licenciatura. 85pp. Maputo, Universidade Eduardo Mondlane.
- McLauchen, K.K., Higuera, P.E., Miesel, J., Rogers, B.M., Schweitzer, J., Shuman, J.K., Tepley, Varner, J.M., Veblen, T.T., Adalsteinsson, S.A., Balch, K.J., Baker, P., Batllori, E., Bigio, E., Brando, P., Cattau, M., Chipman, M.L., Coen, J., Crandall, R., Daniels, L., Enright, N., Grossl, W.S., Harvey, B.J., Hatten, J.A., Hermann, S., Hewitt, R.E., Kobziar, N.L., Landesmann, B.J., Loranty, M.M., Maezumi, Y.S., Mearns, L., Moritz, M., Myers, A.J., Pausas, J.G., Pellegrini, A.F.A., Platt, J.W., Roozeboom, J., Safford, H., Santos, F., Scheller, R.M., Sherriff, R.L., Smith, K.G., Smith, M.D e Watts, A.C. (2020). O fogo como processo ecológico fundamental: avanços e fronteiras da pesquisa. *Revista de Ecologia*, 108:2047–2069;
- MICOA (2007). Plano de Acção para a Prevenção e Control às Queimadas Descontroladas 2008-2018: Queimadas Descontroladas, soluções para um problema global. Maputo. Moçambique.
- Pereira, C. R., Albanez, M. J e Mamedio, M. P. I. (2012). Diversidade da meso e macrofauna edáfica em diferentes sistemas de manejo de uso do solo em Cruz das Almas – BA. *Semana Entomológica da Bahia (SINSECTA)*, Magistra, Cruz das Almas-BA, v. 24, número especial, p. 63-76;
- Piromal, R. A. S., Lombardi, R. J. R., Shimabukumo, Y. E., Formaggio, A. R e Krug, T. (2008). Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia. *Acta Amazonica*, v. 38(1)2008:77-84;

- Redin, M. Santos, F. G. Miguel, P. Denega, L. G. Lupatini, L. Doneda, A. De Souza, E. L. (2011). Impactos da queima sobre os atributos químicos, físicos e biológicos do solo. *Ciência Florestal*, v. 21, n. 2, p. 381-392;
- R Core Team (2025). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.
- Santana, N. C. (2019). *Dinamica de Incendios Florestais e Alteracoes Biofisicas na Amazonia e Cerrado Brasileiros a Partir de series Temporais de Sensoriamento Remoto*. Tese de Doutorado. 94pp. Brasília, Universidade de Brasília;
- Santos, D. S., Silva, C. H. V., Souza, J. I., Santos, M. P e Galdino, W. O. (2020). Utilização de armadilhas tipo pitfall no levantamento da fauna edáfica na zona rural de Traipu – AL. *Revista da Universidade Estadual de Alagoas/UNEAL e-ISSN 2318-454X*, Vol. 12 (3);
- Silva dos Santos, C.P., Barros, R.P., Silva, D.M.M.N., Moura, S.K.S e D.R., Santos. (2021). Levantamento da diversidade da macrofauna do solo no bosque das arapiracas. *Revista da Universidade Estadual de Alagoas/UNEAL e-ISSN 2318-454X*, Vol. 13 (2);
- Steel, A.L., J.E.D., Miller, L.S., Ponísio, M.W., Tingley, K., Wilkin, R., Blakey, Hoffman, K.M e G. Jones. (2023). A roadmap for pyrodiversity science. *Journal of Biogeography*, 00:1–14;
- Silva, L. N e Amaral, A. A. (2013). Amostragem da mesofauna e macrofauna de solo com armadilha de queda. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Revista Verde* (Mossoró – RN - BRASIL), v. 8, n. 5, p. 108 – 115;
- Souza, L.C.V. (1997). *Estudo da Descrição e Fertilidade dos Solos de Reserva Especial de Maputo*. Tese de Licenciatura. Maputo, Universidade Eduardo Mondlane;
- Souza, M. H. Vieira, B. C. R. Oliveira, A. P. G., Amaral, A. A. (2015). Macrofauna do Solo. *Enciclopedia Biosfera*;
- Souza, C. V. Lourenço, A. Vieira, M. E. (2023). Respostas Espécies-específicas de mamíferos de médio e grande porte a atributos do regime de fogo em uma savana neotropical propensa ao fogo. *Homens*, 6.110;

- Thakur, M.P., Phillips, H.R.P., Brose, U., De Vries, F.T., Lavelle, P., Loreau, M., Mathieu, J., Mulder, C., Van der Putten, H.W., Rillig, C.M., Wardle, A.D., Bach, E.M., Bartz, L.C.M., M.J., Briones, B.M.JI., Brown, G., Decaëns, T., Eisenhauer, N., Ferlian, O., Guerra, C.A., König-Ries, B., Orgiazzi, A., Ramírez, K.S., Russel, J.D., Rutgers, M., Parede, D.H., e E.K, Cameron. (2020). Rumo a uma compreensão integrativa da biodiversidade do solo. *Revisões Biológicas*, 95;350–364;
- Tianhua, H. Y., Lamont, B. B e Pausas, G. J.(2019). O fogo como um dos principais impulsionador da Biodiversidade da Terra. *Revista Brasileira*, 94, 1963-2010;
- Tingley, M.W., Gutiérrez, Wilkerson, R.L., Howell, C.A e R.B, Siegel. (2016). A pirodiversidade promove a diversidade aviária na década seguinte ao incêndio florestal. *The Royal Society Publishing*, c. B 283:20161703;
- Ubisse, A. V. N.(2015). *Avaliação do Impacto da Frequência de Queimadas na Diversidade de Pequenos Mamíferos, no Parque Nacional do Kruger, África do Sul*. Dissertacao de Mestrado. 84pp. Maputo, Universidade Eduardo Mondlane;
- Utui, A. A. (2021). *Avaliação do Enquadramento Teórico e Prático da Educação Ambiental na Gestão das Queimadas na Reserva Especial de Maputo*. Tese de Licenciatura. 72pp. Maputo, Universidade Eduardo Mondlane.

12. Anexos

Tabela 5: Espécies Colectadas nas 3 classes de regime de fogo.

Especies	1 Classe de fogo	2 Classe de fogo	3 Classe de fogo
<i>Acanthogryllus fortipes</i>	25	15	0
<i>Acrida ungarica</i>		1	
<i>Aiolopus strepens</i>	26	21	3
<i>Anachalcos convexus</i>	4		
<i>Aphrophora corticea</i>			4
<i>Apis mellifera</i>		6	
<i>Atractonotus mulsanti</i>		2	
<i>Balboceros</i>	1		
<i>Blaps sp</i>	1	20	7
<i>Blaptica dubia</i>		1	1
<i>Caminara</i>	2		
<i>Camponotus fulvopilosus</i>	16		
<i>Camponotus maculatus</i>		258	229
<i>Circellium bacchus</i>	10		
<i>Cormocephalus spp</i> <i>sp</i>	0	4	1
<i>Dorymyrmex spp</i>	199	3216	804
<i>Eupelix cupsdata</i>			4
<i>Forficula senegalensi</i>	4		
<i>Garreta nitens</i>	60	25	
<i>Gryllotalpa hexadactyla</i>	4		
<i>Gryllus bimaculatus</i>	13	11	5
<i>Gymnopleureus human</i>	12	6	18
<i>Heteronitis castelnaui</i>	40	69	8

<i>Heteropternis obscurella</i>	10	4	1
<i>Hodotermes mossambicus</i>	4	39	70
<i>Iomachus politus</i>	1	2	
<i>Kheper nigroaeneus</i>	20	10	
<i>Lampyris spp</i>		14	9
<i>Lampyrus neotricula</i>	4		
<i>Linepithema humile</i>	32	49	41
<i>Lycus melanurus</i>		1	
<i>Maramis rufolineatus</i>			1
<i>Micraspis striata</i>			5
<i>Pachylomerus femoralis</i>	9	17	1
<i>Psammodes bertolonni</i>	8	15	
<i>Psammodes striatus</i>		3	
<i>Psorodes gratilla</i>	2		
<i>Rhodometra sacraria</i>		1	
<i>Scarabaeus regosus</i>			2
<i>Scolopendra</i>		2	2
<i>Scolopendra morsitans</i>	1		
<i>Sisyphus spp</i>		7	
<i>Solenopsi punctaticeps</i>	79	506	75
<i>Streblognathus aethiopicus</i>		1	2
<i>Streblognathus aethiopicus</i>	57		
Abundancia Total	677	4328	1300
Riqueza	29	30	25

1. Testes Estatísticos

- Testes diagnósticos para a observância dos pressupostos do modelo ANOVA, Teste de Shapiro Wilk (teste de normalidade), Teste de Levene (teste de homogeneidade das variâncias) para transectos e classes.

Shapiro-Wilk normality test-Riqueza

data: In\$Riqueza

W = 0.96331, p-value = 0.3752

Shapiro-Wilk normality test-Índice de Shannon

data: In\$H

W = 0.95276, p-value = 0.2003

Shapiro-Wilk normality test- Índice de Simpson

data: In\$D

W = 0.92871, p-value = 0.04539

Shapiro-Wilk normality test-Índice de equitabilidade

data: In\$log_J

W = 0.96858, p-value = 0.5012

Tabela 6: Resultados de Levene's Teste.

Dados	Levene's teste for Homogeneity of variance(center=mean)			
Riqueza/Transecto		Df	Fvalue	Pr(>F)
	Group	8	2.0479	0.0899
Riqueza/Classes		21		
	Group	2	2.2589	0.1238
Shannan/Transectos		27		
	Group	2	1.4559	0.2509
Shannan/Classes		27		
	Group	2	1.4559	0.2509
Equitabilidade/Transectos		Df	Fvalue	Pr(>F)
	Group	8	0.3938	0.9116
Equitabilidade/Classes		21		
	Group	8	1.0694	0.422
Equitabilidade/Transectos		21		
	Group	8	1.0694	0.422

Equitabilidade/Classes	Df	Fvalue	Pr(>F)
Group	2	0.3469	0.71
	27		

Tabela 7: Tabela de comparação dos testes de ANOVA riqueza e índices de diversidade da marofauna do solo nos diferentes regimes de fogos.

	Soma dos quadrados	Graus de Liberdade	F	p-Value
Riqueza/Transecto	322.1	8	3.761	0.00702
Riqueza/Classe	114.1	2	3.557	0.0426
H'/Transecto	6.903	8	5.792	0.000577
H'/Classe	4.544	2	11.18	0.00029
J'/Transecto	1.822	8	0.703	0.686
J'/Classe	0.062	2	0.098	0.907

Para o Índice de Simpson seguiu-se com o teste de Kruskal-Wallis:

Simpson (D') by Transecto

Kruskal-Wallis rank sum test

Kruskal-Wallis chi-squared = 19.71, df = 8, p-value = **0.01149**

`kruskal.test(D ~ Classe_Fogo, data = In)`

Simpson (D') by Classe_Fogo

Kruskal-Wallis rank sum test

Kruskal-Wallis chi-squared = 11.695, df = 2, p-value = **0.002887**

Tabela 8: Tabelas de testes de TukeyHSD e Dunn Test

Classe de Fogo (Shannon_H')	diff	lwr	upr	p adj
2-1	-0.81639	-1.30926	-0.32351	0.000943
3-1	-0.88744	-1.41435	-0.36053	0.000787
3-2	-0.07106	-0.56394	0.411825	0.932127

Classe de Fogo (Equitabilidade_J')	diff	lwr	upr	p adj
2-1	0.059799	-0.55599	0.675586	0.968583
3-1	0.117577	-0.54073	0.775881	0.98795
3-2	0.057778	-0.55801	0.673565	0.970638

Classe de Fogo (Simpson_D')	Z	P.unadj	P.adj
1-2	3.030753	0.00243	0.007318
1-3	2.958853	0.003087	0.0061
2-3	0.132394	0.89467	0.894