



Universidade de Brasília

FACULDADE UnB PLANALTINA

CIÊNCIAS NATURAIS

**Monitoramento da Reabilitação Ecológica: Artrópodes
como Ferramentas de Avaliação**

Igor Rafael de Barros Ramos

ORIENTADORA: Profa. Dra. Flávia Nogueira de Sá

Planaltina - DF

Janeiro 2025



Universidade de Brasília

FACULDADE UnB PLANALTINA

CIÊNCIAS NATURAIS

**Monitoramento da Reabilitação Ecológica: Artrópodes
como Ferramentas de Avaliação**

Igor Rafael de Barros Ramos

ORIENTADORA: Profa. Dra. Flávia Nogueira de Sá

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora, como exigência parcial para a obtenção de título de Licenciado do Curso de Ciências Naturais, da Faculdade UnB Planaltina, sob a orientação do Prof(a). Flávia Nogueira de Sá.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à espiritualidade e ao universo, por guiarem meu caminho ao longo desta jornada. À minha ancestralidade, que, com sua força e sabedoria, me inspira e sustenta em cada passo.

Agradeço profundamente à minha orientadora, Profa. Dra. Flávia Nogueira de Sá, por aceitar embarcar comigo neste e por sua dedicação, paciência e confiança. Sua orientação foi indispensável para que este trabalho se tornasse realidade.

Aos meus amigos da faculdade, Marília, Antônio, Maria, Karine, Natacha deixo minha gratidão pelo apoio, pelas conversas e principalmente pelas risadas. Vocês foram muito importantes.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para minha caminhada acadêmica, seja com palavras de incentivo, gestos de apoio ou simplesmente acreditando em mim. Este trabalho é fruto de muitas mãos, corações e energias.

RESUMO

A reabilitação é um processo que tem como finalidade devolver a um ecossistema sua utilidade prática e sua funcionalidade. Os artrópodes desempenham papéis fundamentais nos ecossistemas, como os de decompositores e de polinizadores. Este trabalho analisou as comunidades de artrópodes em áreas reabilitadas de uma antiga zona de mineração e uma área preservada de Cerrado, utilizando estes organismos como indicadores ecológicos para avaliar o sucesso do processo de reabilitação. As áreas estudadas incluem dois tratamentos reabilitados (APL e NML) e uma área de Cerrado preservado como referência. A coleta de dados foi realizada utilizando armadilhas para artrópodes que voam ou se locomovem por balonismo, com análises baseadas em parâmetros como riqueza, abundância e diversidade (índices de Shannon e Simpson). Os resultados indicaram que as áreas reabilitadas apresentam menor riqueza e abundância de espécies em comparação com o Cerrado preservado, reflexo das limitações na recuperação de ecossistemas complexos como o Cerrado. Apesar disso, as áreas reabilitadas demonstram progresso no restabelecimento de funções ecológicas e biodiversidade, destacando a importância do monitoramento contínuo e de estratégias a longo prazo para a recuperação ambiental. O estudo demonstra, através dos artrópodes, que o Cerrado não se reabilita em curto prazo.

Palavras-chave: Cerrado, reabilitação ecológica, artrópodes, biodiversidade, indicadores ecológicos

ABSTRACT

Rehabilitation is a process that aims to return an ecosystem to its practical usefulness and functionality. Arthropods play fundamental roles in ecosystems, like as decomposers and as pollinators. This study analyzes the arthropod communities in rehabilitated areas of a former mining site and in a preserved Cerrado area, using them as ecological indicators to evaluate the success of the rehabilitation process. The studied areas include two rehabilitated treatments (APL e NML) and a preserved Cerrado area as a reference. Data collection involved arthropod traps placed in different plots, with analyses based on parameters such as richness, abundance, and diversity (Shannon and Simpson indices). The results indicated that rehabilitated areas exhibit lower richness and abundance compared to the preserved Cerrado, reflecting the

challenges of restoring complex ecosystems like the Cerrado. Nevertheless, rehabilitated areas show progress in reestablishing ecological functions and biodiversity, highlighting the importance of continuous monitoring and long-term strategies for environmental recovery. The study demonstrates, through arthropods, that the Cerrado is not rehabilitated in the short term.

Keywords: Cerrado, ecological rehabilitation, arthropods, biodiversity, ecological indicators.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a humanidade enfrenta o desafio de utilizar os recursos naturais de maneira racional e preservar os ecossistemas. Essa exploração dos recursos de maneira desenfreada e irracional, frequentemente, resulta em alterações no ambiente quase irreversíveis. Essas alterações comprometem a capacidade dos ecossistemas de se regenerar e fornecer serviços ecossistêmicos, mostrando que estratégias mais sustentáveis são o caminho para a utilização dos recursos naturais (LANA, 2009; PIERRE; PIERONI, 2019, ASSUNÇÃO; DEUS, 2022; MACHADO, 2020).

Uma das saídas para essa situação é a restauração ecológica. A restauração ecológica é definida pela Society for Ecological Restoration (2004) como uma intervenção intencional que busca acelerar a recuperação de ecossistemas degradados, respeitando sua saúde, integridade e sustentabilidade. Quando o ecossistema não consegue se regenerar por si só, a restauração visa devolvê-lo à sua trajetória histórica de desenvolvimento (SER, 2004). Contudo, dado que as condições durante a restauração podem alterar esse processo, a restauração não necessariamente resultará na volta do ecossistema original (SER, 2004; FONSECA et al., 2017).

Além da restauração, é necessário aplicar artifícios que consigam monitorar o grau de sucesso da intervenção (SANT'ANNA et al., 2011). Portanto, os indicadores a serem adotados irão variar de acordo com as técnicas utilizadas e com os objetivos específicos da restauração (RIGURIRA; MARIANO-NETO, 2013).

A maioria dos indicadores utilizados na avaliação e monitoramento da restauração está restrita a análise da vegetação (LIMA et al., 2020; RIGURIRA; MARIANO-NETO, 2013; SILVA et al., 2024). Mas alguns trabalhos citam outros indicadores, como por exemplo, animais vertebrados (DAMASCENO, 2005) e características dos solos (CHAER, 2008).

Os artrópodes são o grupo de animais mais diversos do planeta (GRIMALDI; ENGEL, 2005) e estão presentes em praticamente todos os ecossistemas (SANTOS et al., 2018). Isso, combinado com características de: desempenhar papéis e comportamentos ecológicos diversificados, sensibilidade a mudanças ambientais, abundância e diversidade sazonais, ciclo de vida curto e facilidade de coleta (OLIVEIRA et al., 2014) os torna excelentes bioindicadores para monitoramento do sucesso ou insucesso de restaurações.

Dessa maneira, o objetivo desse trabalho é analisar o grau de sucesso da reabilitação de duas áreas reabilitadas a partir da utilização de indicadores ecológicos e comparação desses indicadores.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O Cerrado é um bioma complexo que ocupa aproximadamente 23% do território brasileiro, caracterizando-se pela variedade de ecossistemas e pela diversidade de fitofisionomias, que incluem formações florestais, savânicas e campestres (SANO et al., 2008). Essas diferentes formações estão estreitamente relacionadas com as características dos solos e variáveis ambientais locais, como umidade, profundidade do solo e topografia (SANO et al., 2008). No entanto, o Cerrado é também um dos biomas mais ameaçados do Brasil, tendo perdido mais da metade de sua vegetação original para atividades humanas, como a agroindústria e pecuária (RATTER, 1997; SILVA, 2009). Menos de 3% da área total do Cerrado é integralmente protegida por políticas de conservação, o que aumenta a vulnerabilidade de seus ecossistemas às ameaças antrópicas e às mudanças climáticas (MARIMON et al., 2012; BRASIL, 2012).

Essa situação reflete um fenômeno global, que está relacionado ao crescimento populacional, ao desenvolvimento econômico e às atividades agroindustriais. A urbanização, a exploração de recursos naturais e o desmatamento para fins agrícolas são algumas das principais causas de degradação ambiental. Segundo Wilson (2016), a humanidade já alterou mais da metade das terras habitáveis do planeta, muitas vezes transformando ecossistemas complexos em áreas degradadas ou monoculturais.

Frente a essa degradação, a recuperação de áreas degradadas tem se tornado cada vez mais urgente. Segundo Chazdon (2014), a restauração ecológica, que busca reverter os danos causados a ecossistemas degradados, é uma ferramenta para restaurar a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos. A restauração pode incluir o reflorestamento, a reintrodução de espécies nativas e a remoção de espécies invasoras, criando condições para que o ambiente recupere sua funcionalidade de forma autossustentável. Além disso, estratégias como o manejo sustentável dos solos e o controle de erosão podem ser utilizadas em áreas degradadas (LAL, 2004).

As florestas também são essenciais na regulação do ciclo hidrológico, influenciando na

disponibilidade e na qualidade da água, além de ajudarem no controle de enchentes (BRUIJNZEEL, 2004; TUNDISI; TUNDISI, 2010). A cobertura vegetal capta parte da precipitação, permitindo a infiltração da água, diminuindo o escoamento superficial e reduzindo os riscos de erosão e de enchentes (FILOSO et al., 2017; CALDER, 2007; TAMBOSI et al., 2015). Esses processos também contribuem na recarga de aquíferos e no fluxo hídrico durante períodos de seca (FILOSO et al., 2017; BALBINOT, 2008). Além disso, as florestas agem como filtros, retendo sedimentos antes que cheguem aos rios (BRUIJNZEEL, 2004; TAMBOSI et al., 2015). A degradação dessas áreas florestais pode acarretar enchentes e grandes períodos de escassez hídrica, o que demonstra a importância da conservação florestal (CALDER, 2007; TUNDISI; TUNDISI, 2010).

No entanto, as formações não florestais do Cerrado (formações savânicas, campestres, cerrados típicos e cerrados rupestres) podem desempenhar essa mesma função, pois sua vegetação impacta diretamente no ciclo hidrológico, ajudando na infiltração da água e diminuindo problemas relacionados ao escoamento superficial (LIMA; SILVA, 2008).

Muitas palavras são utilizadas para se referir à recuperação de uma área degradada, incluindo a própria palavra recuperação. No entanto, cada denominação, como restaurar, reflorestar, recuperar, recompor, reabilitar e florestar, representa um conceito que reflete estratégias específicas para lidar com os impactos ambientais e a degradação dos ecossistemas.

Restaurar uma área degradada significa buscar a recuperação do ecossistema às suas condições originais, tanto em biodiversidade quanto em funções ecológicas. Essa abordagem busca restabelecer os processos ecológicos e a composição de espécies nativas, promovendo a autossustentação do ambiente (SER, 2004). Como aponta Chazdon (2014), a restauração ecológica prioriza o retorno da resiliência dos ecossistemas, criando condições para que espécies nativas possam voltar para o ambiente.

O reflorestamento, por outro lado, é o plantio de árvores em áreas desmatadas, visando recompor a cobertura florestal. Essa prática pode incluir tanto espécies nativas quanto exóticas, dependendo do objetivo, que pode variar entre conservação ambiental, produção de madeira ou melhoria na qualidade do solo (NETO et al., 2018). Lamb et al. (2005) destacam que o reflorestamento é frequentemente utilizado em projetos de sequestro de carbono, mas pode não necessariamente restaurar a biodiversidade original da área.

A recuperação de áreas degradadas foca na restauração da funcionalidade do ecossistema, mesmo que a composição original de espécies não seja completamente restabelecida. Essa abordagem é voltada para a recuperação de serviços ecossistêmicos essenciais, como a proteção do solo e a regulação hídrica (JESUS-BOAVENTURA et al., 2019). Segundo a Society for Ecological Restoration, o objetivo principal é garantir que o ambiente recupere sua capacidade de fornecer benefícios práticos, mesmo que não retorne ao seu estado original (SER, 2004).

Recompor uma área degradada envolve, além de outras estratégias, a reposição da vegetação, para retorno da funcionalidade ecossistêmica que antes havia sido perdida, pode ser usada para atender exigências legais, como em Áreas de Preservação Permanente (APPs) ou Reservas Legais (SOARES-FILHO et al., 2014; METZGER et al., 2019). Brancalion e Holl (2016) ressaltam que a recomposição visa recuperar funções ecológicas essenciais, mas geralmente é orientada por requisitos jurídicos ou sociais, em vez de uma restauração completa do ecossistema.

Já a reabilitação concentra-se em devolver à área degradada uma utilidade prática e sua funcionalidade como ecossistema, sem priorizar a recriação do ecossistema original (CARPANEZZI, 2005). Esse conceito é comumente aplicado em solos degradados pela mineração ou agricultura, visando transformá-los em espaços ecologicamente viáveis. Lal (2004) aponta que a reabilitação frequentemente inclui o plantio de culturas agrícolas ou pastagens em áreas degradadas, promovendo um uso sustentável dos recursos.

Por fim, florestar uma área refere-se ao plantio de árvores em locais onde elas não existiam originalmente, como campos e savanas (MERCANTE, 1994). Essa prática está associada à introdução de florestas em paisagens não florestais, geralmente com fins econômicos ou de mitigação climática.

Cada uma dessas estratégias é aplicada com base nas condições do local, no grau de degradação e nos objetivos específicos do projeto (RODRIGUES et al., 2020). Compreender essas diferenças pode ajudar a implementar iniciativas mais assertivas que promovam a conservação ambiental e o uso responsável dos recursos naturais.

A avaliação do sucesso da restauração requer indicadores que reflitam a recuperação das

funções ecológicas e da biodiversidade (SER, 2004). O monitoramento de restaurações ecológicas tem sido amplamente focado em indicadores relacionados à vegetação (LIMA et al., 2020; SILVA et al., 2024). Contudo, indicadores baseados em animais vertebrados, como descrito por Damasceno (2005), e em características dos solos, conforme discutido por Chaer (2008), também desempenham um papel na compreensão da recuperação de ecossistemas.

Embora diversas ferramentas sejam utilizadas nesse processo, os artrópodes se destacam como um excelente meio de análise devido à sua diversidade, abundância e papel essencial nos ecossistemas (OLIVEIRA et al., 2014; FARFÁN-BELTRÁN et al., 2022). No entanto, sua utilização ainda é subaproveitada e essa lacuna contrasta com a eficácia dos artrópodes como bioindicadores, capazes de fornecer informações sobre o progresso da restauração.

Os artrópodes, como insetos, aracnídeos e crustáceos, desempenham papéis importantes nos ecossistemas, incluindo a polinização, o controle biológico, a decomposição e a ciclagem de nutrientes (OLIVEIRA et al., 2014). Sua sensibilidade às mudanças ambientais os torna excelentes bioindicadores. Segundo Andersen et al. (1999), a presença, abundância e diversidade funcional de artrópodes podem refletir as condições do solo, da vegetação e dos processos ecológicos em uma área restaurada.

Um método comum para avaliar artrópodes em áreas restauradas é a comparação de suas comunidades com as de ecossistemas de referência, ou seja, áreas preservadas que representam o objetivo da restauração (NASCIMENTO, 2019). Essa abordagem permite identificar o grau de similaridade em termos de composição de espécies e funções ecológicas. Conforme apontado por Majer (2009), a restauração é considerada bem-sucedida quando as comunidades de artrópodes apresentam padrões semelhantes aos de áreas naturais, tanto em diversidade quanto em funcionalidade.

Além disso, a análise de artrópodes pode revelar lacunas no processo de restauração. Por exemplo, uma baixa diversidade de polinizadores pode indicar que a composição de plantas na área não está adequada para sustentar e atrair essas espécies (KREMEN et al., 2002). Da mesma forma, a ausência de predadores naturais, como aranhas e besouros carabídeos (LÖVEI et al., 1996), pode sugerir que o ecossistema ainda não alcançou equilíbrio funcional. Esse tipo de análise pode orientar ajustes nas estratégias de manejo, como a introdução de espécies nativas específicas ou a melhoria das condições do solo (SUDING et

al, 2004).

Outras pesquisas realizadas com artrópodes, como a conduzida por Farfán-Beltrán et al. (2022), revelam que o uso de artrópodes como indicadores em programas de restauração ecológica pode fornecer *insights* sobre a eficácia das intervenções. O estudo, realizado na Reserva Ecológica do Pedregal de San Ángel (FARFÁN-BELTRÁN, 2022), na Cidade do México, destacou diferenças na riqueza, abundância e composição funcional das comunidades de artrópodes entre áreas conservadas, restauradas e degradadas. Os resultados mostraram que os sítios restaurados apresentaram valores intermediários, posicionando-se entre os sítios conservados e os degradados, com predadores sendo mais abundantes em áreas conservadas e fitófagos dominando áreas degradadas. Esses resultados demonstram o potencial dos artrópodes para avaliar o estado funcional dos ecossistemas restaurados.

Por fim, os artrópodes também são úteis em análises temporais, avaliando o progresso da restauração, ao longo do tempo (ANDERSEN, 1999). Estudos longitudinais podem identificar se as tendências de biodiversidade e funcionalidade estão em ascensão, estagnadas ou declínio (MCGEOCH, 1998).

3. METODOLOGIA

A metodologia deste estudo foi delineada com o objetivo de investigar o sucesso de uma reabilitação, em uma área degradada por mineração de componentes subterrâneos (areia e cascalho) para a construção de Brasília-DF. Nessas áreas, a retirada total do solo resultou na exposição da rocha matriz que exigiu esforços de reabilitação. Os dados aqui apresentados foram coletados em 2018 como parte do projeto de pesquisa “Lodo de Esgoto na Recuperação de Áreas Degradadas: Monitoramento do Projeto do Pátio Ferroviário em Brasília-DF” e posteriormente analisados com a perspectiva de avaliação de áreas reabilitadas no presente trabalho.

3.1. Área de Estudo

A área de estudo está localizada no Pátio Ferroviário, situado ao norte da DF-087 ("Via Estrutural") e a oeste da DF-003 ("EPIA"), entre o Setor de Oficinas Norte e a Cidade do Automóvel, nas proximidades da antiga Rodoferroviária de Brasília. Trata-se de uma área

degradada sob domínio da União Federal, cuja responsabilidade administrativa é do Comando do Exército/Comando da 11ª Região Militar. A recuperação da área foi realizada por meio do projeto "Aplicação de Lodo de Esgoto (biossólido) para recuperar área degradada do Pátio Ferroviário", submetido ao processo de licenciamento ambiental no IBRAM (Processo nº 190.001.175/2003) e autorizado pela Autorização Ambiental nº 055/2012 - IBRAM, emitida em setembro de 2012 e renovada em 2015.

As atividades de recuperação foram conduzidas em parceria entre as entidades governamentais CAESB, Exército Brasileiro e TERRACAP, com a interveniência do IBRAM, no âmbito do Termo de Cooperação Técnica nº 12-046-00, conforme publicado no Diário Oficial do Distrito Federal (DODF) nº 139, em 19 de julho de 2012.

A área de estudo está localizada na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá, inserida em uma região de clima tropical de savana (Aw), conforme a classificação climática de Köppen, sob as coordenadas 15°46'32"S e 47°56'56"W. Trata-se de uma antiga área de empréstimo ativa entre as décadas de 1950 e 1960, durante a construção de Brasília. Posteriormente, o local foi utilizado irregularmente para o descarte de resíduos domésticos e de construção civil (FRAGA, 2016).

Para avaliar a influência do lodo no processo de recuperação da área degradada, foram selecionados dois talhões nas áreas experimentais, em função do tempo de aplicação e da quantidade de lodo. O processo de aplicação do lodo foi o mesmo nas duas áreas estudadas, acontecendo da seguinte forma: inicialmente, foram feitas marcações no campo com estacas de ferro de aproximadamente 50 cm de altura, fixadas em locais pré-estabelecidos para orientar o descarregamento do lodo pelos caminhões. Após o descarregamento, utilizou-se uma retroescavadeira para espalhar o lodo, cobrindo toda a superfície do solo de forma homogênea. Na sequência, realizou-se a incorporação do lodo ao solo utilizando uma grade aradora e um arado de quatro discos, acoplados a um trator 4x4. Durante esse processo, foi aplicada cal hidratada para minimizar odores e evitar na área, utilizando uma espalhadeira também acoplada ao trator. Por fim, após um período de aproximadamente 10 dias, a área foi arada novamente para uniformizar a aplicação do lodo ao solo. As espécies arbóreas, plantadas após a aplicação do lodo, eram fornecidas de acordo com a disponibilidade na TERRACAP (FRAGA, 2016). Logo, cada talhão apresenta diferentes comunidades vegetais. Abaixo, estão descritos os tratamentos aplicados:

1. Tratamento APL: área de 20,11 ha, que recebeu aplicação de 290 mil m³ lodo e resíduos de poda provenientes da cidade no entorno, iniciada em 22/02/2013.
2. Tratamento NML: área de 44,12 ha, que recebeu aplicação de 640 mil m³ lodo durante o período de 05/10/2015 a 02/11/2015.
3. Fragmento de cerrado: área de 19,7 ha, adjacente aos tratamentos, com aproximadamente 61 espécies arbóreas nativas, apresentando formações de cerrado denso e cerrado sentido restrito.

3.2 Coleta dos dados

A coleta dos artrópodes nas áreas de vegetação (talhões experimentais) e na área preservada (Cerrado) foi realizada por meio de armadilhas, que são simplificações dos métodos propostos por Southwood e Henderson (2000), instaladas a um metro do solo e nas copas das árvores (figura 1). As armadilhas foram confeccionadas utilizando garrafas PET transparentes de 2,5 litros recicladas, pintadas de azul, amarelo ou mantidas sem pintura (figura 1), com o objetivo de atrair uma maior diversidade de artrópodes associados à vegetação. Ambas as áreas experimentais amostradas foram divididas em parcelas de 10 x 10m, quadriculada e sorteada para garantir a aleatoriedade dos dados. Em cada parcela sorteada, foram instaladas seis armadilhas (uma em cada posição das três cores).

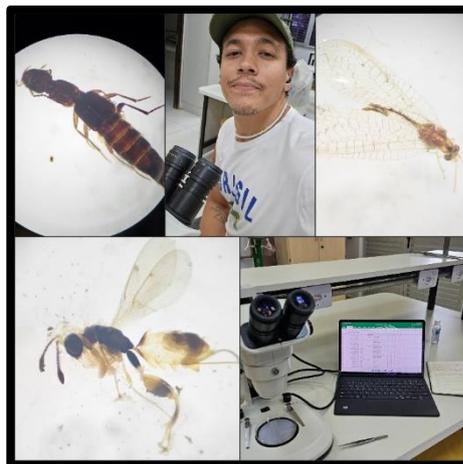
Figura 1- Armadilha de garrafa PET em processo de construção, armadilha em campo nas duas alturas e armadilha amarela pronta, respectivamente.



Fonte: acervo próprio.

As armadilhas permaneceram no campo por quatro dias, sendo instaladas no final da estação chuvosa (abril/maio). Após esse período, os artrópodes capturados foram recolhidos e transportados ao laboratório, onde foram preservados em solução alcoólica 70% para posterior triagem e classificação em morfoespécies e ordem. Essa etapa visou possibilitar a comparação entre os talhões experimentais e a área conservada (Cerrado) em termos da estrutura e funcionamento das comunidades em cada unidade Experimental. A triagem, dos artrópodes foi realizada no Laboratório de Ensino de Biologia da Universidade de Brasília, no campus de Planaltina (figura 2). Utilizando uma lupa estereoscópica (figura 2) para análise detalhada dos indivíduos coletados. A identificação foi feita separando os artrópodes em morfoespécies.

Figura 2- Insetos das ordens Neuroptera, Isoptera e Hymenoptera respectivamente, lupa utilizada na análise dos artrópodes e o autor.



Fonte: acervo próprio.

3.3 ANALISE DE DADOS

Os dados foram analisados a partir do programa PAST (Paleontological Statistics), que é um software gratuito amplamente utilizado para análises estatísticas em Ecologia, Biologia e Paleontologia (HAMMER et al., 2001).

Em cada área estudada (duas áreas experimentais e o fragmento de cerrado), as comunidades de artrópodes foram descritas em função composição, riqueza, abundância e diversidade (através dos índices de Shannon e de Simpson). A similaridade entre as três diferentes comunidades foi avaliada através do índice de similaridade de Bray Curtis, escolhido por considerar a similaridade em função da presença de espécies e quantidade de

indivíduos.

- Riqueza e abundância: esses dados foram obtidos diretamente dos dados, sem a necessidade de análises estatísticas, já que esses valores são literalmente o que eles representam em cada comunidade. Nesse caso, riqueza é a quantidade de morfoespécies encontradas e abundância é quantidade total de indivíduos.
- Dominância: foi obtido através da plataforma PAST através dessa fórmula:

$$D = \sum_{i=1}^S \left(\frac{ni}{N}\right)^2$$

Onde:

S = número total de morfoespécies

ni = número de indivíduos da espécie 'i'

N = número total de indivíduos de todas as espécies

- Diversidade (Simpson 1-D): foi obtido através da plataforma PAST pela fórmula:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S pi^2$$

Onde:

pi = proporção de indivíduos da morfoespécie i em relação ao total de indivíduos

- Diversidade (Shannon H): foi obtido através da plataforma PAST pela fórmula:

$$\sum_{i=1}^S pi \cdot \ln(pi)$$

Onde:

S = número total de morfoespécies

pi = proporção de indivíduos da morfoespécie i em relação ao total de indivíduos

$\ln(pi)$ = logaritmo natural da proporção pi

4. RESULTADOS e DISCUSSÃO

4.1 Riqueza, abundância e diversidade

Os dados obtidos nesse trabalho revelaram diferenças entre o Cerrado, uma área preservada, e os tratamentos APL e NML, que correspondem às áreas reabilitadas.

Tabela 1 - Valores dos Parâmetros encontrados nos dois tratamentos de Lodo (APL e NML) e no fragmento de cerrado.

Parâmetro	Cerrado	APL	NML
Riqueza	121	33	45
Abundância	290	64	82
Dominância	0,03836	0,06006	0,03837
Simpson	0,9616	0,9399	0,9616
Shannon	4,15	3,18	3,56

O fragmento de cerrado apresentou uma riqueza de espécies maior (121) em relação as áreas reabilitadas, com APL (33 espécies) e NML (45 espécies) (tabela 1). Essa maior riqueza na área preservada reflete a complexidade do bioma. Em NASCIMENTO (2019), a riqueza de espécies de formigas em áreas de regeneração ativa (intervenções diretas para acelerar o processo de recuperação) foi menor em comparação com o ecossistema de referência, sendo explicado por conta dos manejos necessários em áreas de regeneração ativa (NASCIMENTO, 2019). Nas áreas reabilitadas, a diferença na composição de espécies pode ser explicada pela introdução de plantas taxonomicamente diferentes daquelas encontradas no Cerrado. Isso corrobora com os resultados obtidos por NASCIMENTO (2019) pois reforça que a riqueza pode estar relacionada com disponibilidade de recursos, que são diferentes entre os ecossistemas em reabilitação e o bioma de referência.

Além disso, a abundância total de indivíduos também foi mais alta no fragmento de cerrado (290 indivíduos), enquanto as áreas reabilitadas possuem números consideravelmente

menores, em Lodo A com 64 indivíduos e em Lodo B com 82 indivíduos. Para DAMASCENO (2005) um dos fatores que podem influenciar a abundância de artrópodes é o tempo da regeneração. Esse dado demonstra que o fracionamento de cerrado é capaz de sustentar uma maior densidade de organismos devido ao seu tempo de existência e solos equilibrados em comparação com as áreas reabilitadas, que enfrentam o desafio relacionado a solos artificiais e ecossistemas em formação. Simpson (tabela 1), são muito parecidos entre si.

O índice de diversidade Shannon foi maior na área de referência (fragmento de cerrado) em comparação com as áreas reabilitadas (tabela 1). Esse resultado corrobora o estudo MARCUZZO (2014), que analisou áreas em restauração e a área referência, a partir da diversidade vegetal no extrato arbóreo e encontrou índices de Shannon mais altos na área referência quando comparados aos índices das áreas em recuperação. Marcuzzo (2014) explica que isso pode estar ligado ao tempo de restauração, já que a área de referência foi uma floresta com estágio avançado de sucessão. FARFÁN-BELTRÁN et al. (2022) analisou três áreas (uma área conservada, uma área perturbada e uma área restaurada) estudando comunidades de artrópodes de um Parque Nacional no México. Os pesquisadores encontraram valores de diversidade maiores nas áreas conservadas, em função da vegetação, composição do solo e conectividade entre as áreas (FARFÁN-BELTRÁN et al., 2022).

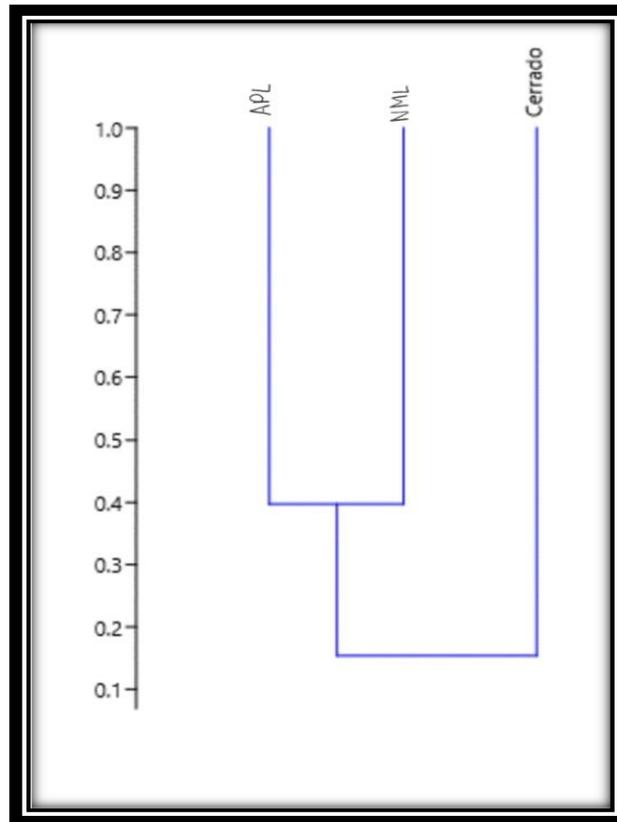
Maiores índices de Shannon encontrados tanto neste trabalho quanto nos estudos de MARCUZZO (2014) e de FARFÁN-BELTRÁN et al. (2022) parecem indicar uma maior diversidade de espécies de artrópodes em áreas de referência.

O índice de Dominância (D) foi bastante similar nos tratamentos e no fragmento de cerrado.

4.2 SIMILARIDADE

Os dados apresentados no dendrograma de similaridade (figura 3) e na matriz de similaridade de Bray-Curtis (tabela 2) mostram o fragmento de cerrado apresentando valores de similaridade baixos, (tabela 2) em relação às áreas reabilitadas. Entre os tratamentos, foi observada uma similaridade mais alta (0,39) (figura 3), o que indica maior proximidade das áreas reabilitadas, em comparação com o fragmento de cerrado.

Figura 3 - Similaridade (Bray Curtis) de artrópodes coletadas entre as áreas de estudo, comparando-se dois diferentes tratamentos de reabilitação e o fragmento de cerrado.



No dendrograma, o fragmento de cerrado está claramente separado dos outros tratamentos, indicando que o bioma natural possui uma composição de espécies bastante distinta. O trabalho de PARIZOTTO et al. (2019) encontrou um resultado parecido para comunidades vegetais em recuperação: no seu estudo as comunidades foram divididas em três grandes grupos baseadas na similaridade, onde o primeiro e o terceiro foram grupos compostos por apenas uma área em recuperação. Esses grupos de apenas uma área tinham similaridade com os demais menor que 45%. Isso pode se justificar pelo fato de apresentar espécies muito diferentes das outras áreas. Já o terceiro grupo formado pelas demais áreas tem maior similaridade entre si, que ultrapassa os 50%, a similaridade ser tão parecida pode ser explicada pela composição de espécies ser mais parecida. No presente trabalho, os resultados foram parecidos, uma vez que as duas áreas reabilitadas apresentaram maior similaridade, em comparação com a área de referência.

O trabalho de Nascimento (2019) avaliou também a similaridade para artrópodes terrestres entre áreas de recuperação e o ecossistema de referência e encontrou uma crescente na

similaridade entre as áreas de recuperação e a referência. Em ecossistemas tropicais, o tempo é uma peça-chave no aumento da similaridade da composição das espécies, o tempo para os parâmetros se mostrarem similares pode levar de 20 a 40 anos e em cenários mais pessimistas de 50 a 100 anos (NASCIMENTO, 2019). Isso pode ser uma explicação para todos os parâmetros analisados serem tão diferentes entre as áreas reabilitadas e o Cerrado, já que as coletas foram feitas com cinco anos de reabilitação para o tratamento de Lodo A e três anos de reabilitação para o tratamento de Lodo B, podendo indicar que com o passar do tempo a similaridade entre as áreas pode aumentar.

Tabela 2 – matriz de similaridade de Bray-Curtis

Cerrado	Lodo A	Lodo B
1	0,1299435	0,17741935
0,1299435	1	0,39726027
0,17741935	0,39726027	1

4.3 ESTRUTURAS TRÓFICAS

De maneira qualitativa, durante a classificação dos artrópodes, foi percebido que todas as áreas analisadas (duas áreas reabilitadas e o fragmento de cerrado) apresentavam grupos funcionais que revelavam uma estrutura trófica minimamente estruturada. Todas as áreas tinham ao menos duas morfoespécies, de ordens diferentes de animais, naturalmente entendidos como predadores. As ordens foram Araneae (aranhas) e Hymenoptera (formigas, abelhas, vespas e marimbondos), sendo as vespas e marimbondos reconhecidos por serem predadores. Isso pode indicar que os predadores encontravam suas presas nessas áreas, e para essas presas estarem nessas áreas as condições ambientais de suporte para esses animais deveriam ser minimamente satisfatórias. O que corrobora com o trabalho de FARFÁN-BELTRÁN et al. (2022) que dizem que quando é encontrada espécie conhecida por serem predadoras o ecossistema em recuperação já tem condições de sustentar cadeias tróficas mais complexas.

5. CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que os artrópodes podem ser utilizados como bioindicadores no processo de avaliar o sucesso da reabilitação de áreas degradadas, pois desempenham funções diversificadas e podem responder de maneiras diferentes a degradações ambientais diversas. A riqueza e abundância das espécies analisadas diferem entre o fragmento de cerrado e as áreas reabilitadas, indicando que a recuperação da comunidade de artrópodes ainda está em andamento. Apesar de as áreas reabilitadas apresentarem alguma estrutura ecológica funcional, a diversidade e riqueza reduzidas sugerem que os processos de recolonização desses organismos ocorrem de forma gradual e podem depender de fatores como a complexidade do habitat, a presença de recursos alimentares e as interações entre espécies.

Além disso, o fato de os valores serem menores não invalida o sucesso da reabilitação. É mais proveitoso ter áreas reabilitadas com alguma funcionalidade ecológica do que mantê-las em estado de degradação, sem vegetação ou capacidade de suporte para a biodiversidade. A reabilitação, mesmo parcial, ajuda a mitigar problemas como erosão do solo, poluição e perda de habitat, além de possibilitar o retorno gradual de processos ecológicos.

Por fim, é importante reconhecer que a reabilitação de um ambiente tão complexo como o Cerrado pode levar décadas, ou até séculos, para atingir seu ápice ecológico se é que isso será possível algum dia. Os processos naturais do Cerrado, desenvolvidos ao longo de milhões de anos, dificilmente podem ser replicados em poucas décadas. No entanto, o esforço da reabilitação pode oferecer a chance de restabelecer, mesmo que lentamente, os serviços ecossistêmicos e a biodiversidade desses ambientes. Portanto, áreas reabilitadas devem ser vistas como ecossistemas em desenvolvimento, cujo monitoramento e cuidado podem trazer benefícios a longo prazo para a conservação da natureza e a recuperação ambiental.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda há muito a ser explorado quando se trata da relação entre artrópodes e reabilitação ecológica. Esses organismos, diversos e abundantes, podem reagir de formas distintas aos processos de restauração ambiental, e entender melhor suas interações pode revelar muito

sobre a funcionalidade dos ecossistemas recuperados. Além disso, acompanhar essas mudanças ao longo do tempo pode ajudar a entender como ocorre a sucessão ecológica nesses grupos e quais estratégias funcionam para facilitar sua recolonização.

Dessa forma, este trabalho reforça a importância de aprofundar as pesquisas sobre artrópodes como indicadores ecológicos. Compreender sua resposta à recuperação de áreas degradadas pode nos ajudar a criar estratégias de monitoramento e manejo da biodiversidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSEN, Alan N. et al. Using ants as bioindicators in land management: simplifying assessment of ant community responses. **Journal of applied Ecology**, v. 39, n. 1, p. 8-17, 2002.

ASSUNÇÃO, Weaver Bruno Moreira; DEUS, Ricardo Jorge Amorim. O USO DE RECURSOS NATURAIS E OS IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE: REVISÃO SISTEMÁTICA. **Revista Ouricuri**, v. 12, n. 2, p. 1-21, 2022.

BALBINOT, Rafaelo et al. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas The forest role in the hydrological cycle at hydrological basins. **Ambiência**, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2008.

BALENSIEFER, Mauricio et al. SER international primer on ecological restoration. Society for Ecological Restoration, Washington, 2004.

BRANCALION, Pedro HS; HOLL, Karen D. Functional composition trajectory: a resolution to the debate between Suganuma, Durigan, and Reid. **Restoration Ecology**, v. 24, n. 1, p. 1-3, 2016.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012

BRUIJNZEEL, Leendert Adriaan. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 104, n. 1, p. 185-228, 2004.

CAMPOS H., et al. Contribuição da fauna silvestre em projetos de restauração ecológica no

Brasil. **Brazilian Journal of Forest Research/Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 72, p. 429,2012.

CARPANEZZI, Antônio Aparecido. Fundamentos para a reabilitação de ecossistemas florestais. **Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso**. Colombo: Embrapa Florestas, p. 27-45, 2005.

CALDER, Ian R. Forests and water—ensuring forest benefits outweigh water costs. **Forest ecology and management**, v. 251, n. 1-2, p. 110-120, 2007.

CHAER, G. M. Monitoramento de áreas recuperadas ou em recuperação. TAVARES, Sílvio Roberto de Lucena et al. **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação: dados eletrônicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008.

CHAZDON, Robin L. **Second growth: the promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation**. University of Chicago Press, 2019.

DAMASCENO, Andréia Caroline Furtado. **Macrofauna edáfica, regeneração natural de espécies arbóreas, lianas e epífitas em florestas em processo de restauração com diferentes idades no Pontal do Paranapanema**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo

FARFÁN-BELTRÁN, Manuel Edday et al. A quick evaluation of ecological restoration based on arthropod communities and trophic guilds in an urban ecological preserve in Mexico City. **Revista chilena de historia natural**, v. 95, 2022.

FILOSO, Solange et al. Impacts of forest restoration on water yield: A systematic review. **PloS one**, v. 12, n. 8, p. e0183210, 2017.

FONSECA, Debora Aline da et al. Avaliação da regeneração natural em área de restauração ecológica e mata ciliar de referência. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p. 521-534, 2017.

FRAGA, Leonardo Pereira. Efeitos da aplicação de bio-sólido e resíduos de poda na revegetação de área de empréstimo no Distrito Federal. 2016.

GRIMALDI, David; ENGEL, Michael S. **Evolution of the Insects**. Cambridge University Press, 2005.

HAMMER, Øyvind; HARPER, David AT. Past: paleontological statistics software package for educator and data anlysis. **Palaeontologia electronica**, v. 4, n. 1, p. 1, 2001.

JESUS BOAVENTURA, Kárita et al. Recuperação de áreas degradadas no Brasil: conceito, história e perspectivas. **Revista Tecnia**, v. 4, n. 1, p. 135-155, 2019.

KREMEN, Claire; WILLIAMS, Neal M.; THORP, Robbin W. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, n. 26, p. 16812-16816, 2002.

LAL, Rattan. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004.

LAMB, D.; ERSKINE, P. D.; PARROTTA, J. A. Restoration of degraded tropical forest landscapes. **Science**, v. 310, n. 5754, p. 1628-1632, 2005.

LANA, Rogério de Paula. Uso racional de recursos naturais não-renováveis: aspectos biológicos, econômicos e ambientais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 330-340, 2009.

LIMA, R. et al. Os indicadores de resultado na restauração da vegetação nativa. São Paulo: Agroicone, 2020.

LIMA, Renato Augusto Ferreira de; RANDO, Juliana Gastaldello; BARRETO, Klaus Duarte. Composição e diversidade no cerrado do leste de Mato Grosso do Sul, Brasil. *Revista Árvore*, v. 39, n. 1, p. 9-24, 2015.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, EM da. Recursos hídricos do bioma Cerrado: importância e situação. **Cerrado: ecologia e flora**, v. 1, p. 87-106, 2008.

LÖVEI, Gábor L.; SUNDERLAND, Keith D. Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). **Annual review of entomology**, v. 41, n. 1, p. 231-256, 1996.

MACHADO, Isis Layne de Oliveira; GARRAFA, Volnei. Proteção ao meio ambiente e às gerações futuras: desdobramentos e reflexões bioéticas. *Saúde em Debate*, v. 44, p. 263-274, 2020.

MAJER, J. D. Animals in the restoration process—progressing the trends. **Restoration Ecology**,

v. 17, n. 2, p. 315-319, 2009.

MARCUZZO, Suzane Bevilacqua et al. Comparação entre áreas em restauração e área de referência no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Árvore**, v. 38, p. 961-972, 2014.

MARIMON, Beatriz Schwantes et al. Florística dos campos de murundus do Pantanal do Araguaia, Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, p. 181-196, 2012.

MCGEOCH, MELODIE A. A seleção, teste e aplicação de insetos terrestres como bioindicadores. **Biological reviews**, v. 73, n. 2, p. 181-201, 1998.

MERCANTE, Mercedes Abid; ABREU, Adílson Avansi de. **Processo de florestamento em áreas de cerrado e seus efeitos ambientais: o caso de Mato Grosso do Sul**. 1994.

METZGER, Jean Paul et al. Why Brazil needs its legals reserves. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 17, n. 3, p. 91-103, 2019.

NASCIMENTO, Mariana Sampaio do et al. O uso de artrópodes terrestres na avaliação de áreas em processo de restauração ecológica. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro 2019.

NETO, João Pedro Bezerra et al. A importância do reflorestamento como estratégia de atenuação dos efeitos da desertificação no semiárido brasileiro. Anais CONADIS.Campina Grande: **Realize Editora**, 2018

OLIVER, I. A. N.; BEATTIE, Andrew J. Designing a cost-effective invertebrate survey: a test of methods for rapid assessment of biodiversity. **Ecological applications**, v. 6, n. 2, p. 594-607, 1996.

OLIVEIRA, Marco Antônio de et al. Bioindicadores ambientais: insetos como um instrumento desta avaliação. **Revista Ceres**, v. 61, p. 800-807, 2014.

PARIZOTTO, Alessandro et al. Florística e diversidade da regeneração natural em clareiras em Floresta Ombrófila Mista. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 39, 2019.

PIERRI, A. C.; PIERONI, M. F. Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 2, p. 01-18, 2019.

- RATTER, James Alexander; RIBEIRO, José Felipe; BRIDGEWATER, Samuel. The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of botany**, v. 80, n. 3, p. 223-230, 1997.
- RIGUEIRA, Dary; MARIANO-NETO, Eduardo. Monitoring: na integrated proposal for the evaluation of the success of ecological restoration projects for Brazilian forested areas. **Revista CAITITU – aproximando pesquisa ecológica e aplicação**. v. 1, n. 1, p. 73-88, 2013.
- RODRIGUES, Ana Beatriz Matos; GIULIATTI, Nathália Melo; JÚNIOR, Antônio Pereira. Aplicação de metodologias de recuperação de áreas degradadas nos biomas brasileiros. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 1, p. 333-369, 2020.
- SANO, Sueli Matiko et al. Cerrado: ecologia e flora. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008., 2008.
- SANT'ANNA, Cristina Silva; TRES, Deisy Regina; REIS, Ademir. Restauração ecológica: sistemas de nucleação. **São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente**, 2011.
- SANTOS, M. et al., Artrópodes. **Revista de Ciência Elementar**, Lisboa, v. 6, n. 1, p. 42, 2018.
- SILVA, Thiago Henrique Costa et al. Para além do papel: estudo das unidades de conservação brasileiras. **Interações (Campo Grande)**, p. e2523911-e2523911, 2024.
- SILVA, Elaine Barbosa da. **Taxas de desmatamento anuais no bioma Cerrado: uma análise a partir de dados Modis para o período de 2003 a 2007**. 2009.
- SOARES-FILHO, Britaldo et al. Cracking Brazil's forest code. **Science**, v. 344, n. 6182, p. 363-364, 2014.
- SOUTHWOOD, T. R. E.; HENDERSON, P. A. *Ecological Methods*. 3rd edn. 575 pp. 2000.
- SOUSA LIMA, Mickaelle Alves et al. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA SERAPILHEIRA EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU E SERINGUEIRA NO SUL DA BAHIA BRASIL. 2020.
- SUDING, Katharine N.; GROSS, Katherine L.; HOUSEMAN, Gregory R. Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology. **Trends in ecology & evolution**, v. 19, n. 1, p. 46-53, 2004.

TAMBOSI, Leandro Reverberi et al. Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. *Estudos avançados*, v. 29, n. 84, p. 151-162, 2015.

TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. ***Biota Neotropica***, v. 10, p. 67-75, 2010.

WILSON, Edward. *Half-earth: our planet's fight for life*. 2016.