

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
CURSO DE MESTRADO

ANNY MYKAELLY DE SOUSA

**DIVERSIDADE DE OLIGOQUETAS NA TRANSIÇÃO ENTRE A
AMAZÔNIA ORIENTAL E O CERRADO.**

São Luís, MA.

2023

ANNY MYKAELLY DE SOUSA

Bióloga

**DIVERSIDADE DE OLIGOQUETAS NA TRANSIÇÃO ENTRE A
AMAZÔNIA ORIENTAL E O CERRADO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, para a obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. PhD. Guillaume Xavier Rousseau.

São Luís, MA.

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Sousa, Anny Mykaelly de.

Diversidade de oligoquetas na transição entre a Amazônia oriental e o cerrado / Anny Mykaelly de Sousa. – São Luís, 2023.

... f

Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Conservação da Biodiversidade) - Universidade Estadual do Maranhão, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Guillaume Xavier Rousseau.

1.Biodiversidade. 2.Invertebrados. 3.Macrofauna. 4.Serviços ecossistêmicos. I.Título.

CDU: 595.142(811.3)

ANNY MYKAELLY DE SOUSA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, para a obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. PhD. Guillaume Xavier Rousseau.

Aprovada em: São Luís (MA), 14/02/2023

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Guillaume Xavier Rousseau
UEMA



Prof. Dr. Christoph Gehring
UEMA



Prof. Dr. Reinaldo Lucas Cajaíba
IFMA Buriticupu

São Luís, MA.

2023

DEDICATÓRIA

A Deus pela sua existência em minha vida, ao meu amado filho Isaac Daniel de Sousa e a minha querida mãe Maria do Socorro por todo apoio e incentivo. As minhas tias Maria de Jesus e Maria Madalena por toda força, suporte e ajuda no decorrer deste curso e de toda minha vida. Aos meus irmãos por sempre me incentivarem a ir mais longe, aos meus sobrinhos e amigos.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelas oportunidades que me foram apresentadas e pelo dom da vida. Agradeço minha mãe por todo apoio e incentivo, pela educação que me destes e por me ajudar a manter o foco na minha profissionalização, a minha família pelo auxílio e suporte em toda minha vida acadêmica, aos meus amigos pelas orientações, conselhos e suportes, e ao meu amado filho Isaac Daniel por ser minha ancora e meu lugar de refúgio.

Agradeço a UEMA pelo suporte, pela oportunidade de realizar uma pós e por todo aprendizado. Aos meus professores maravilhosos, Professor Guillaume e Luís que me acompanham desde a graduação e sempre me auxiliaram na realização de todas as etapas desta pesquisa.

Agradeço ao meu querido amigo Sandriel que tanto ajudou e colaborou para realização deste trabalho. A minha amiga Lesbia que me deu suporte nas correções e me ajudou com Isaac durante minha estadia em São Luís, sempre muito presente e muito amiga. Sou muito grata pela família do ex companheiro Marliton André que durante o final do meu curso me deram todo suporte para permanecer em São Luís e poder realizar minha pesquisa com a segurança de que o meu filho estava em boas mãos e sendo bem cuidado.

No mais, agradeço a todos que contribuíram direta e indiretamente para realização deste trabalho que é muito importante para minha formação e para o meu avanço dentro da pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo financiamento da pesquisa.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 2: Descrição das comunidades de minhocas na transição entre	
a Amazônia oriental e o	
Cerrado.....	29
Figura 1. Localidades de amostragem na transição dos Biomas Amazônia-	
Cerrado.....	33

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2: Descrição das comunidades de minhocas na transição entre

a	Amazônia	oriental	e	o
Cerrado.....				29

Tabela 1: Densidade de minhocas (ind.m-2) e biomassa (g.m-2) média e índice de diversidade por camada de solo amostrada pelo método TSBF.....43

Tabela 2: Categorias ecológicas de minhocas por camada de solo amostradas com o método TSBF.....44

Tabela 3: Densidade de minhocas (ind.m-2) e biomassa (g.m-2) média e índice de diversidade por parcela amostrada com o método TSBF adaptado por Decaëns.....45

Tabela 4: Categorias ecológicas de minhocas por parcela de solo amostrado com o método TSBF adaptado por Decaëns.....46

Tabela 5: Categorias ecológicas de minhocas em uma amostra de solo de um metro quadrado, método TSBF adaptado por Decaëns.....46

Tabela 6: Lista de minhocas e categorias ecológicas na transição Amazônia-Cerrado.....47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
1.1 Caracterização dos biomas Cerrado e Amazônia.....	16
1.2 Minhocas.....	18
1.3 Categorias ecológicas de minhocas.....	19
1.4 Avanço do conhecimento sobre minhocas no Norte-Nordeste do Brasil.....	22
2 OBJETIVOS.....	24
2.1 Objetivo geral.....	24
2.2 Objetivos específicos.....	24
REFERÊNCIAS.....	25
CAPÍTULO 2 – DESCRIÇÃO DAS COMUNIDADES DE MINHOCAS NA TRANSIÇÃO ENTRE A AMAZÔNIA ORIENTAL E O CERRADO.....	29
BIBLIOGRAFIA.....	39
ANEXOS.....	42

DIVERSIDADE DE OLIGOQUETAS NA TRANSIÇÃO ENTRE A AMAZÔNIA ORIENTAL E O CERRADO

RESUMO

A transição entre o bioma Cerrado e Amazônia está localizada na porção Norte e Leste do estado maranhense, onde os dois biomas recobrem todo o estado e se destacam como hotspots mundiais pela rica biodiversidade de fauna e flora. Estudos recentes indicam a presença de espécies novas do grupo de oligoquetas, principalmente da Área de Endemismo do Belém, conhecidas como engenheiras dos ecossistemas, grupo sensível às perturbações ambientais, adaptáveis às atividades antrópicas nos perfis do solo e responsáveis por diversas funções ecossistêmicas. A realização de um trabalho descritivo acerca desse grupo é importante para compreensão dos processos que estruturam e agregam o solo, bem como para o entendimento da vida no solo e do funcionamento de processos físico-químicos que afetam toda a diversidade da macrofauna. O objetivo deste projeto foi descrever as comunidades de minhocas na transição Amazônia oriental e Cerrado, e como objetivos específicos verificar a ocorrência de novas espécies de minhocas para os dois biomas, contribuir para o avanço de novas pesquisas dentro do estado e comparar a diversidade de minhocas a partir do uso de dois métodos de coleta. Para realização desta pesquisa foram utilizados uma compilação de dados de minhocas coletadas na Amazônia oriental, e a complementação desses dados através de novas coletas feitas no Cerrado do leste maranhense. As amostragens ocorreram no período chuvoso nos municípios de Alcântara, São Luís, Itinga do Maranhão, Rosário, São José de Ribamar, Centro Novo do Maranhão, Tome Açú e Caxias, a partir do método TSBF e da adaptação do método TSBF feito por Decãens et al. (2016). A identificação das minhocas foi realizada através de chaves taxonômicas. Com base nos resultados foi possível analisar a ocorrência de 5.180 minhocas, sendo estas classificadas em três categorias ecológicas: epigeicas, endogeicas e anecicas. As categorias com maiores números de minhocas foram Epigeicas e Endogeicas, encontradas em maioria em locais conservados e próximas a riachos, sofrendo forte influência dos longos períodos chuvosos e do uso do solo.

Palavras-chave: Biodiversidade; Invertebrados; Macrofauna; Serviços ecossistêmicos

OLIGOCHAETA DIVERSITY IN THE TRANSITION BETWEEN EASTERN AMAZON AND THE CERRADO

ABSTRACT

The transition between the Cerrado and the Amazon biome is located in the North and East portion of the state of Maranhão, where the two biomes cover the entire state and stand out as world hotspots due to the rich biodiversity of fauna and flora. Recent studies indicate the presence of new species of the oligochaeta group, mainly from the Belém Endemism Area, known as ecosystem engineers, a group sensitive to environmental disturbances, adaptable to anthropic activities in soil profiles and responsible for various ecosystem functions. Carrying out a descriptive work on this group is important for understanding the processes that structure and aggregate the soil, as well as for understanding life in the soil and the functioning of physical-chemical processes that affect all the diversity of macrofauna. The objective of this project was to describe the earthworm communities in the eastern Amazon and Cerrado transition, and as specific objectives to verify the occurrence of new earthworm species for the two biomes, contribute to the advancement of new research within the state and compare the diversity of earthworms using two collection methods. To carry out this research, a compilation of data on earthworms collected in the eastern Amazon was used, and the complementation of these data through new collections made in the Cerrado of eastern Maranhão. Sampling took place during the rainy season in the municipalities of Alcântara, São Luís, Itinga do Maranhão, Rosário, São José de Ribamar, Centro Novo do Maranhão, Tome Açú and Caxias, based on the TSBF method and the adaptation of the TSBF method by Decãens et al. (2016). The identification of earthworms was performed using taxonomic keys. Based on the results, it was possible to analyze the occurrence of 5,180 earthworms, which were classified into three ecological categories: epigeic, endogenous and anecic. The categories with the highest numbers of earthworms were Epigeic and Endogeic, mostly found in conserved places and close to streams, strongly influenced by long rainy periods and soil use.

Keywords: Biodiversity; Invertebrates; Macrofauna; Ecosystem services.

INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

O Estado do Maranhão é um dos mais extensos em termos de território, é o único estado que apresenta formações vegetais de três biomas diferentes; Amazônia, Cerrado e Caatinga. Em virtude disso, o estado apresenta zonas de transição entre os respectivos biomas, os quais são de grande importância para os estudos ecológicos (CUNHA et al. 2016).

Em razão das condições ecológicas complexas dessas áreas, como a transição Cerrado/Amazônia (CAT), a qual forma um dos maiores ecótonos tropicais do mundo (TORELLO-RAVENTOS et al. 2013), as degradações florestais ocorridas nesses biomas, o desmatamento e as mudanças climáticas são os principais agentes de degradação, os quais alteram a composição e a biodiversidade das espécies de plantas e animais, sendo a fauna edáfica um dos grupos mais sensíveis e afetados (BERUDE et al. 2015). Esses problemas também favorecem a colonização de espécies exóticas em detrimento da queda da biodiversidade das espécies nativas, uma vez que estas são mais vulneráveis às perturbações ambientais (STELLA, 2011).

Em estudos ecológicos acerca da macrofauna, um dos grupos que mais se destacam são as oligoquetas (minhocas), os quais são de grande importância para o solo, atuam de forma direta na formação e estruturação do solo, colaboram para a existência de microrganismos benéficos e ajudam na disponibilização de água e nutrientes para as plantas (ORGIAZZI et al. 2016).

As minhocas são responsáveis por prestarem diversos serviços ecossistêmicos, como, regulação e aumento da disponibilidade de nutrientes no solo, contribuição nos processos químicos e físicos (AMAZONAS et al. 2018), atuam também na decomposição da matéria orgânica, no processo de formação de agregados (BARETTA et al. 2011), e na fertilidade do solo (LAVRNIC et al. 2019).

No entanto, apesar de serem um dos grupos mais importantes e abundantes da fauna edáfica, as minhocas ainda são um grupo de organismos pouco conhecidos, tanto em relação à sua biologia básica quanto no que diz respeito a sua ecologia (SOUSA; HERNÁNDEZ-GARCÍA; CHRISTOFFERSEN, 2020). Grande

parte dessa escassez de informação se deve ao baixo número de especialistas e taxonomistas, fato este que contribui diretamente para o baixo número de trabalhos publicados sobre este grupo (SOUSA; HERNÁNDEZ-GARCÍA; CHRISTOFFERSEN, 2020). Outro problema que merece destaque é o baixo número de áreas estudadas, sendo a Área de Endemismo de Belém uma das que mais carecem de dados. Esta região se encontra entre os rios Tocantins e Pindaré e possui apenas um quarto de sua área com cobertura florestal original (REF).

Nesse contexto apresentaremos a primeira síntese dos levantamentos feitos sobre as populações de oligoquetas amostradas ao longo de um gradiente geográfico na transição entre o Cerrado e a Amazônia Oriental, que inclui a Área de Endemismo de Belém e uma revisão completa sobre as minhocas, categorias ecológicas e biomas abordados nesse trabalho. Essa pesquisa teve como objetivo principal realizar um trabalho descritivo da comunidade de minhocas presentes no ecótono Cerrado e Amazônia oriental, atualizando a lista de espécies e categorizando ecologicamente as minhocas coletadas.

CAPÍTULO 1: Revisão bibliográfica

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Caracterização dos biomas Cerrado e Amazônia

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, perdendo em termos de extensão territorial apenas para o bioma amazônico, o mais biodiverso do mundo. O Cerrado teve sua cobertura vegetal original reduzida de 2.038.953 km² para 1.052.708 km², com área desmatada de 986.247 km² (48,37%) até 2008, (IBGE, 2010). De acordo com Relatório Anual do Desmatamento de 2021 elaborado pelo MapBiomas, os dados acerca do desmatamento no Cerrado aumentaram em 20%, sendo a agropecuária responsável por 98% da área desmatada no bioma. o Cerrado também foi vastamente afetado pela derrubada de áreas florestadas, tendo registrado uma alta de 20,2% no desmatamento de 2020 para 2021 (RAD, 2021).

O Cerrado, assim como o bioma Amazônico, se configura em um grande mosaico de paisagens naturais, composto por diferentes ecossistemas, quase sempre ocorrendo em solos com baixa fertilidade natural. Esses ecossistemas se apresentam com diferentes fisionomias, tais como Cerradão, Cerrado sensu stricto, Campo Rupestre, Mata de Galeria, Mata Ciliar e Mata Mesofítica, dentre outros. Além disso, o Cerrado apresenta uma grande biodiversidade de fauna e flora, sendo classificado como um “hotspot” em biodiversidade, com a presença de espécies endêmicas para o Maranhão (BATISTA, 2011).

A Floresta Amazônica, por sua vez, ocupa cerca de 5,4 milhões de km² e expande-se por nove países na América do Sul, sendo um deles o Brasil. A amostra mais oriental do bioma atinge o Estado do Maranhão no Brasil. A Amazônia Maranhense possui 81.208,40 km² abrangendo cerca de 34% do território do estado (IBGE, 2018). Segundo o MMA, as árvores de grande porte conforme os últimos dados oficiais registraram 2.500 espécies (1/3 de toda a madeira tropical do mundo) e são mais de 30 mil espécies de plantas (das 100 mil da América do Sul). São mais de 2.000 espécies de plantas identificadas como de utilidade na alimentação e na medicina, bem como na produção de óleos, graxas, ceras, e outros produtos que são bastante comercializados (MMA, 2021).

O Maranhão é o estado da Amazônia Legal que tem o menor grau de ocupação do espaço com áreas protegidas, a pesquisa em questão dentro desse espaço foi realizada área conhecida como mosaico do Gurupi, reconhecido pela sua importância e ao alto nível de ameaça dessa região, as principais etnias habitantes das seis TI (Awá-Guajá, Guajajara, Ka'apor e Tembé), juntamente com os conselheiros e gestores da Rebio Gurupi, apoiados por várias instituições públicas e da sociedade civil, vêm empreendendo esforços para a gestão integrada desse território, buscando objetivos de proteção territorial, de restauração das florestas e da valorização da cultura indígena e dos povos tradicionais (CELENTANO et al. 2017).

Dentro desse mosaico existe um outro processo paralelo nessa área buscando a criação do Corredor Ecológico da Amazônia Maranhense na perspectiva de consolidar ações efetivas de conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos na escala da paisagem, interligando os últimos remanescentes florestais dessa porção da Amazônia e garantindo segurança hídrica para a região por meio da integração das áreas protegidas mediante a recuperação das matas ciliares dos rios Gurupi, Pindaré, Buriticupu e Zutiua (CELENTANO et al. 2017).

O bioma apresenta diversos grupos de fauna e flora, sendo considerado um arquipélago de diferentes áreas de endemismo apartadas pelos principais rios. As áreas de endemismo da Amazônia perderam de 2% a 13% de suas florestas, exceto Xingu (que perdeu cerca de 27% de suas florestas) e Belém (de sua área coberta por florestas). As unidades de conservação de proteção integral representam, entretanto, uma pequena porção das áreas protegidas na região, representando de 0,28% a 11,7% da extensão das áreas de endemismo no Brasil. (SILVA et al. 2005).

Assim, as áreas de endemismo como AEB deveriam ser consideradas como unidades geográficas básicas para o planejamento e implementação de corredores de biodiversidade, formados por áreas protegidas contíguas, promovendo ampla conectividade tanto no interior como nas bordas das áreas de endemismo (SILVA et al. 2005).

1. 2 Minhocas

As minhocas são organismos essenciais para o solo, grande parte delas habita a camada mais superficial do solo (JAMES, 2007), onde desempenham importantes funções ecológicas. Segundo Hendrix e Bohlen (2002), as minhocas desempenham funções essenciais para a biologia do solo, conhecido também como atividades ecossistêmicas, como decomposição da matéria orgânica e disponibilização de nutrientes. São também organismos de suma importância para os processos sucessionais de florestas secundárias (BOYER; WRATTEN, 2010).

Este grupo por meio de suas atividades nos processos de fragmentação e mineralização da matéria orgânica (MO) além de “moldar” as propriedades do solo e em alguns casos beneficiar o crescimento das plantas podem influenciar positivamente o processo de sucessão ecológica de florestas que sofreram com impactos ambientais (EDWARDS, 1996).

Por exercerem atividades fundamentais para o entendimento da vida no solo (EDWARDS et al.1994). Nos últimos anos, o número de buscas sobre os serviços ecossistêmicos desempenhados por organismos invertebrados teve um crescimento exponencial, em razão das funcionalidades desempenhadas por esses organismos, de ciclo de vida rápido e por apresentarem melhores respostas às perturbações ambientais, contribuindo para o desenvolvimento de serviços ecossistêmicos para um uso mais sustentável do solo e de seus recursos (FISHER et al. 2009). Como resultado desses processos, as atividades desempenhadas pelas minhocas são relatadas como benéficas com base na importância dos seus coprólitos eliminados no solo, onde esses resíduos processam todo o material orgânico ingeridos por elas e fazem mudança do pH desses resíduos, aumentando a disponibilização de nutrientes no solo (EMBRAPA, 2021).

Dessa forma, utilizar as minhocas como parâmetros ambientais através das suas funcionalidades é uma opção que visa trazer benefícios para o solo e para quem faz uso direto da terra, minimizando os impactos ambientais, contribuindo para a boa qualidade dos ecossistemas e aumento da biomassa no solo, colaborando também para a existência de um ecossistema equilibrado e para o mantimento das futuras gerações.

1. 3 Categorias ecológicas de minhocas

As minhocas podem ser agrupadas em três grandes categorias ecológicas: epigeicas, anécicas e endogeicas, sendo que cada grupo desenvolve funções diferentes. A classificação ecológica tem sido usada para relacionar as características morfológicas das minhocas com as funções ecológicas que elas exercem no solo, sendo integrada como forma de avaliar a interferência das minhocas nos serviços e atividades ecossistêmicas (BOUCHÉ, 1977).

As minhocas epigeicas residem na camada mais superficial do solo e realizam a decomposição e ciclagem dos nutrientes, quebrando a liteira e liberando as substâncias presentes nesse material. Esse grupo também apresenta pigmentação total no corpo, uma musculatura escavadora pouco desenvolvida, tamanho pequeno ou mediano e uma preferência alimentar por alimentos ricos em matéria orgânica, por tanto se encontram distribuídas preferencialmente em ambientes como a liteira ou serrapilheira, onde há um maior acúmulo de matéria orgânica (BOUCHÉ, 1977; LAVELLE, 1983; LAVELLE et al. 1989).

As minhocas que fazem parte da categoria ecológica anécica fazem a criação de poros no solos, formação de agregados no solo, tunelamento, galerias, e ciclagem de nutrientes, assim como as epigeicas, atuam também regulando o fluxo e controle de água no solo e operando na manutenção e estruturação do solo, apresentam como principais características, pigmentação na parte anterior do corpo, a qual serve de proteção contra a radiação solar devido à constante exposição da área corporal na superfície do solo durante a procura de recursos ricos em matéria orgânica. Apresentam igualmente uma forte musculatura escavadora na parte anterior do corpo, fato que ajuda esse grupo (BOUCHÉ, 1977; LAVELLE, 1983; LAVELLE et al. 1989).

O tamanho das espécies varia, de médio a grande e com um padrão de construção de galerias verticais que podem atingir mais de 70 cm de profundidade, tendo em particular algumas espécies conhecidas como Minhocoçu (*Rhinodrilus alatus*) por exemplo, as quais chegam até 1,5 m (JIMÉNEZ; DECAËNS, 2003). As oligoquetas dentro desta categoria têm um forte impacto na dinâmica de nutrientes e

nas propriedades físicas do solo, agregando o solo e atuando na dinâmica dos nutrientes disponíveis no solo (LAVELLE; SPAIN, 2001).

As minhocas da categoria ecológica endogéica por residirem nas camadas mais internas do solo atuam principalmente na formação de agregados no solo e auxiliam nos processos de manutenção do perfil do solo bem como na regulação do fluxo de água, além de representarem o grupo mais diversos e desconhecido. A pigmentação é ausente e é um fator principal na sua identificação e na diferenciação entre as demais categorias, apresentam musculatura escavadora fortemente desenvolvida em todo o corpo. Não apresentam padrões definidos para construção de galerias, mas tem preferências por certos tipos de matéria orgânica, podendo ser classificadas em três subgrupos: oligohúmicas, mesohúmicas e polihúmicas. (SOUSA et al. 2020, BOUCHÉ, 1977).

Por fim, as minhocas enquadradas nas três diferentes categorias são categorizadas conforme local onde foram encontradas e características visuais, como tamanho e pigmentação. Ambas as categorias incluem minhocas com estrutura escavadora bem desenvolvida e desenvolvendo processos similares. Com a nova atualização das categorias realizadas por Bottinelli et al. (2020), um trabalho de revisão foi feito utilizando a seguinte metodologia:

Foi construído um modelo capaz de atribuir a uma espécie de minhoca uma determinada categoria ecológica, onde foi adotado o seguinte procedimento: primeiro, foram selecionados os traços morfo-anatômicos que foram os traços mais distintivos para analisar as principais diferenças entre as três grandes categorias ecológicas (epígeica, anécica e endogéica. Após isso, foi realizado uma classificação aleatória da floresta onde as minhocas foram encontradas, para identificar as áreas mais preditores que caracterizam os três grupos entre os 23 traços já definidos por Bouché (1972). A importância de cada preditor foi determinada avaliando o aumento na média de erro quadrado (MSE) entre as observações e previsões fora do saco. As características selecionadas foram então usadas para construir um modelo PCA usando e a partir deste modelo PCA, foram adicionados outras espécies, que não foram atribuídos a uma categoria, mas descritos por Bouché (1972) como indivíduos complementares (6 epi-anécicas, 10 epi-endogéicas, 2 endo-anécicas, 5 intermediárias e 39 não especificado). O

triângulo foi definido pelos três baricentros de cada categoria ecológica nos dois primeiros eixos do PCA (os baricentros foram calculados usando apenas espécies atribuídas a cada categoria por Bouché 1972). Uma vez que os três pólos do triângulo foram definidas, calculamos as coordenadas de cada espécie como a distância entre cada polo nos dois primeiros eixos do PCA. Essas distâncias foram usadas pela primeira vez para determinar se uma espécie estava dentro ou fora do triângulo. Se dentro, suas coordenadas eram dadas pelas distâncias entre os três pólos. Se fora, então a espécie foi projetada no pólo ou lado mais próximo do triângulo e suas coordenadas eram determinadas recalculando as distâncias entre os três pólos após a projeção.

O triângulo foi ainda dividido em sete sub-regiões para definir as sete categorias ecológicas. Definidos os limites das principais categorias para 75% foram obtidos os arquétipos verdadeiros e depois cortados o espaço central em quatro regiões sendo definindo os limites para 60%.

Como conclusão do trabalho de Bottinelli et al. (2020), as categorias ecológicas foram reenquadradas em 4 grupos (epigeico, anécico, endogeico e epianécico). A partir desta análise foram determinados um conjunto de características para cada categoria. As espécies epigeicas agora são definidas de tamanho pequeno e peso leve, são todas pigmentadas, geralmente de coloração vermelha com degradê ao longo do corpo. A parte caudal do corpo pode ser achatado e o epitélio é mole. A estrutura muscular é pinada. Eles não têm sulco longitudinal e poucos têm sulco transversal. A forma do tiflosole é principalmente maciço.

As espécies anécicas são maiores e mais pesadas, todas pigmentadas, com coloração marrom com degradê ao longo do corpo. O clitelo e a parte caudal do corpo podem ser achatados e o epitélio é rígido. A estrutura muscular é principalmente pinada. Eles têm longitudinais e transversais sulcos. A forma do tiflosole é apenas pinada. (BOTTINELLI et al. 2020).

As espécies endógenas são de tamanho e peso médios. São todos despigmentados, com coloração rosa sem gradiente ao longo do corpo. O clitelo pode ser achatado e o epitélio mole. A estrutura muscular é elementar e radial. Todos eles têm sulcos longitudinais, mas poucos têm sulcos transversais. A forma do tiflosole é bilamelada. (BOTTINELLI et al. 2020).

Os epi-anécicos compartilham características semelhantes com anécicos, tendo como exceção a ausência de sulcos longitudinais, que é uma característica compartilhada com as espécies epigeicas apresentam as mesmas propriedades do anécicos. (BOTTINELLI et al. 2020).

1. 4 Avanço do conhecimento sobre minhocas no Norte-Nordeste do Brasil

No Brasil, o trabalho mais completo e representativo envolvendo minhocas foi publicado em 2007 por Brown e colaboradores, que apresenta estudos acerca da biologia, ecologia e distribuição de minhocas. Entretanto, mesmo com um trabalho completo como esse, as informações acerca da taxonomia de minhocas para região Norte e Nordeste ainda são insuficientes. É necessário salientar que as regiões Norte e Nordeste representam mais de 60% do território brasileiro (IBGE, 2019). Além disso, três dos biomas mais ricos em biodiversidade do mundo se encontram nessa região, o bioma Amazônico, Cerrado e Mata Atlântica. (NASCIMENTO; RIBEIRO, 2017).

Grande parte dessa lacuna de informações pertinentes à taxonomia de minhocas nessas regiões é consequência do baixo número de especialistas ativos capazes de desenvolver trabalhos nessa área de pesquisa, a falta de investimentos em pesquisas também colabora para tal situação (FRAGOSO et al. 2003).

Em 1900, nenhuma espécie nativa de minhoca foi relatada para o Norte e Nordeste, sendo registradas apenas duas espécies exóticas *Amyntas gracilis* (KINBERG, 1867) e *Amyntas pallidus* (MICHAELSEN, 1892) para o estado do Amazonas. Ambas as espécies foram relatadas por Rosa (1894). É necessário destacar que, nesse período, o Brasil não possuía um taxonomista de minhoca ativo, o que pode explicar o baixo número de registros de espécies (SOUSA; HERNÁNDEZ-GARCÍA; CHRISTOFFERSEN, 2020).

Entre 1900 e 1940, a taxonomia das minhocas no Norte e Nordeste começou a evoluir de forma gradual. Nesse período, foram identificadas 19 novas espécies, das quais 18 eram espécies nativas. Entretanto, até aquele momento, o Brasil ainda não possuía taxônomos ativos, e todos os registros só foram possíveis graças aos trabalhos publicados pelos autores Michaelsen (1918, 1925, 1926, 1928, 1934) e

Cernosotov (1934, 1935, 1939). É importante observar que, apesar do avanço, a taxonomia estava evoluindo a uma taxa de quase 0,4 espécies por ano e que, ao final dessas quatro décadas, apenas seis dos 16 estados que integram a região Norte e Nordeste registraram espécies de minhocas (SOUSA; HERNÁNDEZ-GARCÍA; CHRISTOFFERSEN, 2020).

Nos anos seguintes, de 1941 a 1980, a taxonomia cresceu mais em comparação com os anos anteriores. Ao todo, 73 novas espécies foram registradas para o Norte e Nordeste do Brasil, sendo 58 nativas. Esse período também é marcado pelas publicações do Gilberto Righi, hoje considerado o maior taxonomista de minhocas do Brasil (FRAGOSO et al. 2003). Righi foi responsável pela descrição de 50 das 58 espécies nativas registradas neste período, o que corresponde a quase 90% das espécies. Além disso, todas as espécies exóticas registradas foram descritas por ele (SOUSA; HERNÁNDEZ-GARCÍA; CHRISTOFFERSEN, 2020).

No último período de 1981 a 2022 o número de espécies registradas foi um pouco maior que no período anterior. Das 80 espécies novas registradas, 70 são nativas. Desde o início até meados deste período, Righi ainda permanece predominante na taxonomia brasileira, sendo responsável pela descrição de 49 das 70 espécies nativas registradas. Com o falecimento de Gilberto em 1999, a taxonomia brasileira sofreu uma grande perda, refletida na década seguinte, onde apenas uma espécie foi descrita em todo o Brasil. (SOUSA; HERNÁNDEZ-GARCÍA; CHRISTOFFERSEN, 2020).

Nas regiões Norte e Nordeste, a taxonomia de minhocas voltou a progredir somente em 2019, com a descrição de nove novas espécies e dois novos gêneros, dados que apenas ressaltam a importância e o impacto que a presença de apenas um taxonomista pode ter para uma determinada região (SANTOS et al. 2017, SANTOS et al., 2020; HERNÁNDEZ-GARCÍA et al. 2018 a, b e c). Os estados com maior número de espécies de minhocas são Amazonas (AM), Pará (PA) e Amapá (AP), enquanto Ceará (CE), Tocantins (TO) e Sergipe (SE) apresentam os menores valores. Os estados da Bahia (BA), Paraíba (PB) e Pernambuco (PE) destacam-se por serem os únicos com espécies mais exóticas (E) que as nativas (N), enquanto o Amazonas é o estado com o maior número de espécies nativas. (SOUSA; HERNÁNDEZ-GARCÍA; CHRISTOFFERSEN, 2020).

Assim, no Maranhão, os trabalhos relativos às minhocas estão em evolução, porém, para a existência de novos registros é necessário a capacitação de estudantes e pesquisadores para atuarem na taxonomia, bem como na ação conjunta de outras parcerias ao redor do mundo (PHILLIPS et al. 2019), para que os números de especialistas cresçam e novas áreas possam ser exploradas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Descrever as comunidades de minhocas encontradas na transição entre a Amazônia Oriental e o Cerrado.

2.2 Objetivos específicos

- Descrever a densidade, biomassa e diversidade das espécies de minhocas encontradas na transição entre a Amazônia Oriental e o Cerrado.
- Atualizar a lista de espécies para a região de transição e categorizar ecologicamente as espécies encontradas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A.S.; VIEIRA, I.C.G. Centro de endemismo Belém: status da vegetação remanescente e desafios para a conservação da biodiversidade e restauração ecológica. **Revista de Estudos Universitários**, v.36, p.95–111, 2010.
- ALVARES, C. A.J. L.; STAPE, P. C.; SENTELHAS, J. L.; DE MORAES Gonçalves AND G. SPAROVEK. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p.711–728, 2013.
- BARTZ, M. L. C.; PASINI, A.; BROWN, G.G. Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. **Applied Soil Ecology**. Embrapa, v. 69, p. 39–48, 2013.
- BRAZ, C.L.; PEREIRA G.J.L., VALLE, F.L.; CORDEIRO, T.M. **A situação das áreas de endemismo da Amazônia com relação ao desmatamento e às áreas protegidas**. Boletim de Geografia, v.34, n.3, p.45–62, 2016. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v34i3.30294>
- BROWN, G.G.; JAMES, S.W. Ecologia, biodiversidade e biogeografia das minhocas no Brasil. *In*: Brown, G.G. & Fragoso, C. (Eds.), **Minhocas na América Latina: Biodiversidade e ecologia**. Embrapa Soja, Londrina, 2007, v.10, p. 297–381.
- BROWN, G.G.; SINGH, J.; SCHÄDLER, M.; DEMETRIO, W.; EISENHAEUER, N. Climate change effects on earthworms - a review. **Senckenberg Museum of Natural History Görlitz**. v.91, n.38, p. 114–138,2019.
- BOUCHE, M.B. Strategies lombriciennes. *In*: LOHM, U.; PERSSON, T. (Eds.). **Soil organisms as components of ecosystems**. Ecological Bulletins, Stockholm, 1977, v. 25, p.122–132.
- BOTTINELLI, N.; HEDDE, M.; JOUQUET, P.; CAPOWIEZ, Y. An explicit definition of earthworm ecological categories – Marcel Bouché's triangle revisited. **Geoderma**. v. 372, 2020. 114361 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114361>.
- CELENTANO, D. et al. Towards zero deforestation and forest restoration in the Amazon region of Maranhão state, Brazil. **Science**, v.68, p.692–698,2017.
- DECAËNS T.; PORCO D.; JAMES S.W.; BROWN, G.G.; CHASSANY V.; DUBS F.; DUPONT L.; LAPIED E.; ROUGERIE R.; ROSSI J.P.; ROY V. DNA barcoding reveals diversity patterns of earthworm communities in remote tropical forests of French Guiana. **Journal Soil Biology and Biochemistry**, v. 92, p. 171–183, 2016.
- EDWARDS, C. A.; BOHLEN, P. J. *Biology and ecology of earthworms*, 3rd Edn. Chapman and Hall, London. the biological health of soils? 1996, Pp. 265-295. *In*: PANKURST, C. E.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. (Eds). **Biological indicators of soil health**. CAB International, Wallingford.

EDWARDS, C.A.; JAMES, S.; JOHN, W.; CURR, J.P.; VICTOR, V. POP; LAVELLE, P.; PAS HANASI, B.; CHARPENTIER, F.; GILOT, C.; ROSSI, J.P.; DEROUARD, L.; ANDRE, J.; PONGE, J.F.; BERNIER, N.; ROBERT, W.; PARMELEE, P.; BOHLEN, J.; JOHN, M.; BLAIR, D.; EDWARDS, W.M.; SHIPITALO, M.J. ; KRETSCHMAR, A.; BERNARD, M.; BROWN, G.G.; BAKER, G.H.; PAUL, F.; REINECKE, A.J.; REINECKE, S.A.; EIJSACKERS, H.; RAD HA, D. K. Earthworm ecology. Boca Raton, Florida: CRC PRESS. 1994, p. 3–6.
EMBRAPA. Redução de minhocas compromete a fertilidade em áreas sob plantio direto. Estudos socioeconômicos e ambientais. Produção vegetal. 2021.

FRAGOSO, C.; BROWN, G.G; FEIJOO, A.M. A influência de Gilberto Righi sobre taxonomia de minhoca tropical: o valor de um taxonomista em tempo integral. **Jornal de Pedobiologia**, v.47, p.400–404, 2003.

HERNÁNDEZ-GARCÍA, L.M.; BURGOS-GUERRERO, J.E.; SANTOS, B.T.S., ROUSSEAU, G.X.; JAMES, S.W. Three new species of *Holoscolex* (Clitellata, Glossoscolecidae) from the Gurupi Biological Reserve, last forest remnant of the Belém Endemism Area, Eastern Amazon. **Zootax magazine**, v.4496, n.1, 459–471, 2018a. DOI: [10.11646/ZOOTAXA.4496.1.35](https://doi.org/10.11646/ZOOTAXA.4496.1.35)

HERNÁNDEZ-GARCÍA, L.M.; BURGOS-GUERRERO, J.E.; ROUSSEAU, G.X.; JAMES, S.W. *Brasilisia* n. gen. and *Arraia* n. gen., two new genera of Ocnerodrilidae (Annelida, Clitellata, Oligochaeta) from Eastern Amazonia, Brazil. **Zootax magazine**, v.4496, n.1, p.472–480. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4496.1.36>, 2018b. DOI: [10.11646/ZOOTAXA.4801.1.4](https://doi.org/10.11646/ZOOTAXA.4801.1.4)

HERNÁNDEZ-GARCÍA, L.M.; BARTZ, M.L.; BURGOS-GUERRERO, J.E.; SOUSA, S.C., ROUSSEAU, G.X.; JAMES, S.W. Additions to *Andiorrhinus* (*Turedrilus*) (Rinodrilidae, Clitellata) from Eastern Amazonia. **Zootax magazine**, v.4496, n.1, p.481–491, 2018c. DOI: [10.11646/ZOOTAXA.4801.1.4](https://doi.org/10.11646/ZOOTAXA.4801.1.4)

IBGE. **Mapas de biomas e de vegetação.** Comunicação Social, maio de 2004. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=169. Acesso em 28 out. de 2019.

IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável.** Estudos e pesquisas: Informação geográfica 7, Rio de Janeiro, p. 443, 2010.

LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. **Advances in Ecological Research**, v.27, p.93–132, 1997.

LAVELLE, P.; BAROIS, I.; FRAGOSO, C. Adaptive strategies of *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochæta), a peregrine geophagous earthworm of the humid tropics. **Biology and Fertility of Soils**, v. 5, n. 3, p. 188-194, 1987.

LAVELLE, P.; SPAIN, A.V. **Soil ecology.** Dordrecht: Kluwer Academic, p.677, 2001.

MICHAELSEN, W. Oligochaeten des Naturhistorischen Museums in Hamburg. IV. **Jahrbuch der Hamburgischen Wissenschaftlichen Abteilungen**, v.8, p.239–342, 1891.

MMA. **Bioma Amazônia**. Ministério do Meio Ambiente, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/amazonia>. Acesso em: 23 de Jan. De 2023.

ORGIAZZI, A.; JOHNSON, N.C. ; SCHEU, S. ; RAMIREZ, K.S. ; LEMANCEAU, P. ; EGGLETON, P. ; JONES, A. ; MOREIRA, F. M. S. ; BARRIOS, E. ; DE DEYN, G. B. ; BRIONES, M. J. I. ; KANEKO, N. ; KANDELER, E. ; PAREDE, D. H. ; SEIS, J. ; FIERER, N. ; JEFFERY, S. ; LAVELLE, P. ; PUTTEN, W. H. V.D. ; SINGH, B. K. ; MIKO, L. ; HEDLUND, K. ; CHOTTE, J.L. ; BARDGETT, R. D. ; BEHAN-PELLETIER, V. ; FRASER, T. ; MONTANARELLA, L. **Wall Global soil biodiversity atlas**. Luxembourg: Union Européenne: 176 pp, 2016.

RAD. **RELATÓRIO ANUAL DO DESMATAMENTO NO BRASIL DE 2021**. MAPBIOMAS.p.126, 2022.Disponível em:<https://mapbiomas.org/desmatamento-em-2021-aumentou-20-com-crescimento-em-todos-os-biomas-1>. Acesso em 23 de Jan. de 2023.

RIGHI, G. Sobre a família Glossoscolecidae (Oligochaeta) no Brasil. **Arquivos de Zoologia**, v.20, p.1–96, 1971. <https://doi.org/10.11606/issn.2176-7793.v20i1p1-95>.

RIGHI, G. Contribuição ao conhecimento dos oligochaetas brasileiros. **Papéis avulsos de zoologia**, São Paulo, v.25, p.149–166, 1972.

RIGHI, G. Colombian earthworms. *In*: T. VAN DER HAMMEN.; A.G. DOS SANTOS (Eds). **Studies on tropical Andean Ecosystems/Estudios de Ecosistemas Tropandinos 4**. Cramer. Berlin. Pp. 485–607, 1997.

RIGHI, G. **Minhocas da América Latina: Diversidade, função e valor**. *In*:Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Rio de Janeiro: SBSC, CD-Rom, 1997.

ROUSSEAU, G.X.; SILVA, P.R.S.; AUGUSTO, D.C.C.; CELENTANO, D.; CARVALHO, C.J.R. Macrofauna do solo em uma cronosequência de capoeiras, florestas e pastos no Centro de Endemismo Belém, Amazônia Oriental. **Revista Acta Amazonica**, v.44, p.499–512, 2014.

SANTOS, B.T.S.; BARTZ, L.M.; HERNÁNDEZ-GARCÍA, L.M.; ROUSSEAU, G.X.; MARTINS, M.B; JAMES, S.W. Novas espécies de minhocas de Righiodrilus(Clitellata, Glossoscolecidae) do leste da Amazônia. **Revista Zootaxa**, v.4242, n.2, p.392–400, 2017.

SILVA, J.M.C.; RYLANDS, A.B.; FONSECA, G.A.B. O destino das áreas de endemismo da Amazônia. **Revista Megadiversidade**, v.1 p.124–131, 2005.

SILVA, P.R.S. **COMPOSIÇÃO E DIVERSIDADE DA MACROFAUNA COMO INDICADORES DA RESTAURAÇÃO DO SOLO NUMA CRONOSEQÜÊNCIA DE CAPOEIRAS E FLORESTAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL**. Defesa de mestrado - Repositório UEMA. 2012.

SILVA, H.G.; FIGUEIREDO, N.; ANDRADE, G.V. Estrutura da vegetação de um cerrado e a heterogeneidade regional do cerrado no Maranhão, Brasil. **Revista Árvore**, v.32, p. 921–930, 2008.

SOUSA, C.S. ; SOUSA, A.M.;HERNÁNDEZ-GARCÍA, L.M.; GUALTER, R.M.R.; ROUSSEAU,G.X. A new earthworm species of the genus *Rhinodrilus* (Rhinodrilidae, Clitellata) and new records of earthworms species from the Amazon-Cerrado-Caatinga transition in the State of Maranhão, Brazil. **Zootaxa amazing**, 2020. DOI: [10.11646/ZOOTAXA.4810.1.11](https://doi.org/10.11646/ZOOTAXA.4810.1.11).

SOUSA, S.C.; GARCIA, L.M.H.; CHRISTOFFERSEN, M.L. From 1900 to 2000: History of Earthworm taxonomy in the North and Northeast of Brazil and its current distribution in Brazilian Biomes. **Arquivos de Zoologia**, v.51, n.3, p.21–29, 2020. <http://doi.org/10.11606/2176-7793/2020.51.03>

STELLA, A. **Plano de prevenção e controle do desmatamento e queimadas do Maranhão**. São Luís: SEMA, p.120, 2011.

SWIFT, M.J.; HEAL, O.W.; ANDERSON, K.M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Studies in ecology, Oxford: Blackwell Scientific Publications. v.5, p.372, 1979.

TORELLO-RAVENTOS, M.; FELDPAUSCH, T.R.; VEENENDAAL, E.; SCHRODT, F.; SAIZ, G.; DOMINGUES, T.F.; MARIMON-JUNIOR, B.H. On the delineation of tropical vegetation types with an emphasis on forest/savanna transitions. **Plant Ecol Divers**, v.6, n.1, p.101–137, 2013.

CAPÍTULO 2: Descrição das comunidades de minhocas na transição entre a
Amazônia oriental e o Cerrado

Artigo estruturado conforme padrão da Revista Zootaxa

COMUNIDADES DE MINHOCAS NA TRANSIÇÃO ENTRE A AMAZÔNIA ORIENTAL E O CERRADO

Earthworm communities in the Eastern Amazon-Cerrado transition

ANNY MYKAELLY DE SOUSA*, LUÍS MANUEL HERNANDEZ-GARCÍA¹, SANDRIEL COSTA SOUSA² & GUILLAUME XAVIER ROUSSEAU^{3*}.

****Postgraduate Program in Agroecology, Maranhão State University (UEMA), Avenida Lourenço Vieira da Silva 1000, Jardim São Cristovão, 65055-310 São Luís, Maranhão, Brazil.

1 annymykaellysousa@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9567-6745>

2 hglm72@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1478-4953>

3 sandriel04@gmail.com;

4 guilirous@yahoo.ca; <https://orcid.org/0000-0002-2482-4376>

* Corresponding author. annymykaellysousa@gmail.com

Resumo

As minhocas são conhecidas como engenheiras de ecossistemas naturais conservados e alterados, as mesmas, são conhecidas por exercerem diversas funções no solo, como, produção de fertilizantes naturais (Húmus), ciclagem de nutrientes, decomposição de detritos e matéria orgânica, contribuem para fertilidade do solo e são comumente reconhecidas e utilizadas como indicadores ecológicas. Assim, este trabalho teve como objetivo descrever a comunidade de minhocas encontradas na transição Amazônia oriental-Cerrado no estado do Maranhão e completar a lista de minhocas existente nessa transição. A amostragem dessa comunidade foi realizada nos municípios de Caxias, São Luís, Itinga do Maranhão, Rosário, São José de Ribamar, Tomé Açú, Centro Novo do Maranhão e Alcântara, utilizando os métodos TSBF (Qualitativo) e o TSBF complementado por Decãens et al. (2016) (Qualitativo). As análises tiveram como resultados a descrição das minhocas e sua categorização ecológica, onde, a categoria endogéica e epigeica foram as mais predominantes. A adaptação do método TSBF (qualitativo) foi essencial para estimar a mega diversidade de minhocas encontradas nas áreas selecionadas; constatou-se também que o município de Itinga do Maranhão foi a localidade que teve maior riqueza de minhocas. Pode-se concluir que as espécies mais encontradas foram as pertencentes aos gêneros: *Andiorhinus*, *Arraia*, *Atatina*, *Brasilisia*, *Diaguita*, *Dichogaster*, *Glossodrilus*, *Holoscolex*, *Liodrilus*, *Glossoscolex*, *Ocnerodrilus*, *Pontoscolex*, *Rhinodrilus*, *Righiodrilus*, *Turedrilus* e *Urobenus*.

Palavras-chave: Biomas; Categoria ecológica; Diversidade; Taxonomia.

Introdução

As minhocas (classe Oligochaeta, filo Annelida), junto às formigas e cupins, são consideradas como “engenheiras do ecossistema” (Jones et al. 1994; Lavelle et

al. 1997), pois suas funcionalidades colaboram na formação de estruturas biogênicas (galerias, ninhos, câmaras e coprólitos) que transformam as características físicas do solo onde residem, bem como exercem forte impacto na disponibilidade de recursos para outros organismos, como os microrganismos e os vegetais (Lavelle *et al.* 1994). Esses animais estão entre os grupos do solo que mais associam-se à nutrição mineral e crescimento das plantas, facilitando os processos de infiltração da água no solo e o tempo de ciclagem dos nutrientes (Carvalho 2017).

Dentro da transição entre a Amazônia oriental e o Cerrado no Maranhão, trabalhos descritivos sobre as comunidades de minhocas têm sido realizados na Área de Endemismo de Belém e na faixa de Cerradão, no leste maranhense, Caxias. (Hernández-García *et al.* 2018a, b e c.; Sousa *et al.* 2020; Santos *et al.* 2017), onde trabalhos tratam da biologia das minhocas, da diversidade presente e da caracterização edáfica dos locais.

A área de Endemismo Belém (AEB) está localizada na área mais desmatada do Bioma Amazônico no Brasil (INPE, 2017). Nessa região, que se estende do leste do Pará ao oeste do Maranhão existe uma vasta riqueza biológica e endemismo (Silva *et al.* 2005; Martins & Oliveira 2011). Nas últimas cinco décadas, a cobertura florestal da AEB foi reduzida a apenas um quarto da superfície (Almeida & Vieira 2010) para ampliar a expansão da pecuária, agricultura e urbanização. Mesmo com os diversos benefícios econômicos desses setores, por outro lado, ainda existe um ciclo de pobreza, violência e degradação ambiental com consequências negativas à toda sociedade da AEB (Prates & Bacha 2010).

Através dessas pesquisas na região Nordeste, tem-se expandido tanto na Amazônia como no Cerrado outros problemas que afetam severamente a macrofauna edáfica, como, o avanço da agropecuária que tem fortalecido os setores econômicos do estado maranhense e os sucessivos eventos de queimadas, onde, em parte acontece por negligência das pessoas e por ações motivadas, visando a degradação ambiental dos biomas e a entrada ilegal nessas áreas. (Silva Junior *et al.* 2020).

Material e Métodos

Os dados utilizados nesse trabalho são oriundos de uma amostragem própria no município de Caxias-MA em 2019 e da compilação dos dados coletados em projetos anteriores entre 2010 e 2018. Para maiores detalhes ver Rousseau et al. 2010, 2014, Pinzón et al. 2015 e Rousseau et al. 2022.

Área de estudo

A área de estudo se estende de Caxias-MA até Tomé-Açu-PA e assim abrange a transição entre o Cerrado e a Amazônia nos Estados do Maranhão e Pará. As amostragens do bioma Amazônia estão todas localizadas dentro da Área de Endemismo de Belém (AEB). As coletas realizadas em Caxias estão localizadas dentro do bioma Cerrado, na porção do leste maranhense (Fig. 1).

As minhocas foram amostradas nos municípios: Caxias-MA, Rosário-MA, São José de Ribamar-MA, São Luís-MA, Alcântara-MA, Bom Jardim-MA, Centro Novo do Maranhão, Itinga do Maranhão, Igarapé-Açu-PA e Tomé-Açu-PA (Tabela 1).

Os tipos de clima Köppen (Alvares *et al.* 2013) variam de Aw (Caxias, Rosário, Centro Novo, Itinga) para As (São José de Ribamar, São Luís, Alcântara), Am (Igarapé-Açu) e Af (Tomé-Açu) com temperaturas médias anuais variando de 24 a 26°C, enquanto as médias de chuvas por ano variam entre 1500 e 2500 mm. Os tipos de solos variam de Plintossolo (Centro Novo do Maranhão, Tomé-Açu, Itinga do Maranhão e Caxias), Latossolo (Centro Novo do Maranhão, São Luís, Igarapé Açu, Itinga do Maranhão e Alcântara), Gleissolo (Alcântara), Argissolo (Rosário, Itinga do Maranhão e São José de Ribamar) e Neossolo (Caxias). A vegetação predominante são Floresta Amazônica densa (Centro Novo do Maranhão, Itinga do Maranhão, Tomé Açu e Igarapé Açu), Floresta Amazônica Aberta (Alcântara, São José de Ribamar, Rosário e São Luís), Floresta ripária (Caxias), Floresta Estacional Decidual Submontana (Caxias). (Rousseau *et al.* 2010; IMESC 2019).

A composição da cobertura vegetal e uso da terra está distribuído em: áreas antropizadas (floresta degradada, floresta sucessional inicial e avançada, solo exposto, agropecuária, floresta sucessional com palmeira e reflorestamento); Florestas primárias (floresta ombrófila densa e aberta); formações pioneiras

(mangue, restinga e comunidades aluviais) e formações naturais (palmeiras, campinarana e savana) (Almeida *et al.* 2013).

Figura 1: Localidades de amostragem na transição Amazônia - Cerrado.



Coleta de minhocas

As minhocas foram coletadas através de dois métodos: o Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF, Anderson e Ingram 1993) e o método Decaëns (Decaëns *et al.*, 2016). O método TSBF, é quantitativo, ele foi modificado segundo Rousseau *et al.* (2010), e foi utilizado em 190 parcelas amostradas no período de 2006-2017. O método TSBF modificado consistiu na retirada de monolitos de solo com serrapilheira de 25 x 25 cm e 10 cm de profundidade, solo e serrapilheira sendo revisados separadamente. Em alguns pontos foi possível aumentar a profundidade

para 10-20cm. As minhocas foram coletadas manualmente e separadas dos demais invertebrados. Elas foram mortas em álcool 70%, fixadas em formaldeído (10%) por 48h, conservadas em álcool 70% e levadas ao laboratório para posterior identificação.

O método Decãens é um método híbrido com TSBF (Quantitativo) uma busca semi-quantitativa (1 m²) e uma busca ativa (Qualitativo), ele foi usado em 90 parcelas, amostradas entre março de 2015 e fevereiro de 2019. A coleta é realizada em parcelas circulares de 56 m de raio (1 hectare). No centro da parcela foi delimitado um triângulo equilátero de 20m onde nos vértices do triângulo foram coletados monólitos TSBF de 25x25cm até 20 cm de profundidade e separados por camadas em Liteira, 0-10 e 10-20cm. No centro do triângulo foi identificada uma área com atividade biogênica e realizado uma amostragem semi-quantitativa em uma área de 1m².

A busca ativa foi realizada na parcela toda, durante um período de 4h/pesquisador, a procura de microhabitats potenciais para minhocas: liteira, pé de árvores, pântano, esterço, solo, solo epifítico, necromassa, tronco podre, cupinzeiros e em lugares com presença de coprólitos. As minhocas coletadas com este método foram fixadas em álcool 96% com troca cada 24h por três dias e mantidas em álcool 96% para posterior identificação.

Identificação taxonômica de minhocas

A identificação das espécies de minhocas foi realizada com base nos caracteres externos e internos (Righi 1966), e diferenciadas em famílias, gêneros e espécies. Foram usadas chaves taxonômicas para os principais gêneros nativos da Amazônia Brasileira pertencentes a três famílias básicas: *Glossoscolecidae* (Santos et al. 2017, Hernández et al. 2018a, Feijo & Celis 2012), *Rhinodrilidae* (Righi 1985, Hernández et al. 2018c), *Andiorrhinus* e *Ocnerodrilidae* (Hernandez et al. 2018b). As espécies pertencentes à família *Acanthodrilidae* foram identificadas através da chave de Plisko et al. (2015).

Resultados

Ao todo foram encontradas 3.362 minhocas na Amazônia e 1.820 minhocas no Cerrado, totalizando 5.180 minhocas com base nos métodos TSBF (Anderson e Ingram 1993) (Quantitativo) e TSBF complementado por Decãens *et al.* (2016) (Qualitativo). Os resultados das tabelas apresentam a abundância média nos municípios amostrados, riqueza total, riqueza dentro de 1m², riqueza de espécies nativas, peregrinas e exóticas, tipo de método utilizado, categorias ecológicas e índices de riqueza. Para resultados das categorias ecológicas foram considerados apenas os três grandes grupos de minhocas: Epigeicos, anecicos e endógeicos.

Os resultados da tabela 1 apresentam os dados de densidade, biomassa e riqueza no método TSBF (Quantitativo), onde:

➤ O município de Alcântara teve a maior riqueza de minhocas (27), seguido de Centro Novo (23), Igarapé Açú (17) e Itinga (16). Os valores relativos à biomassa foram iguais em Caxias (4) e Itinga (4), sendo ambos os municípios localizados nos dois diferentes biomas, Cerrado e Amazônia respectivamente.

A tabela 2 apresenta os dados relativos às categorias ecológicas das minhocas coletadas com o método TSBF (Quantitativo):

➤ A categoria Endogeica foi a mais bem representada com 52 indivíduos e Epi-Anecicos com 9.

Os resultados da tabela 3 apresentam os dados relativos à densidade, biomassa e riqueza no método TSBF complementado por Decãens *et al.* (2016) (Qualitativo), onde foi analisado:

➤ A riqueza total foi maior no Centro Novo (21), Alcântara (15) e Itinga (12). A densidade foi maior em Itinga (112), Centro Novo (92), Alcântara (75) e Caxias (42). A biomassa foi maior em Itinga (37), Centro Novo (26) e São José de Ribamar (9).

A tabela 4 e 5 apresenta as categorias ecológicas das espécies de minhocas coletadas no método TSBF complementado por Decãens *et al.* (2016) (Qualitativo) e dentro de um perfil de 1m², onde a categoria ecológica Endogeica foi a mais abundante, com 42 indivíduos e Anecicos com 7, e Endogeica com 20 e endo-anecicos com 5 indivíduos respectivamente.

A tabela 6 apresenta a lista das espécies encontradas na transição Cerrado e Amazônia oriental, onde:

- Houve um registro de 64 espécies, das quais, 6 espécies pertenciam a família *Acanthodrilidae*, 30 espécies pertenciam a família *Glossoscolecidae*, 15 espécies pertenciam a família *Ocnerodrilidae*, 3 espécies pertenciam a família *Rhinodrilidae* e 14 espécies pertenciam a família *Rhinodrilus*. Dessa listagem 59 espécies eram nativas, 2 espécies peregrinas e 3 espécies exóticas. Os municípios com maior diversidade de espécies foram: Itinga (12), Centro Novo (9), Igarapé Açú (8), Alcântara (7) e Caxias (5).

Discussão

Estudos realizados em áreas próximas a riachos revelam que substratos mais complexos como folhas e outros materiais vegetais geralmente contêm maior abundância e riqueza de minhocas, por tais locais fornecer abrigo e retenção de alimentos mais abundantes dos recursos naturais existentes, na forma de pequenas partículas orgânicas e perifiton (Gorni & Alves 2012). Fato esse demonstrado nesta pesquisa, onde as minhocas coletadas nos pontos próximos a córregos e riachos apresentaram maior densidade, biomassa e diversidade. Nessa perspectiva, acredita-se que os altos teores de matéria orgânica provavelmente favoreceu a maior abundância de oligoquetas na Amazônia oriental, considerando as características morfoclimáticas do bioma.

Além disso, a maior abundância e frequência da família *Glossoscolecidae*, *Ocnerodrilidae* e *Rhinodrilidae* em mesohabitats arenosos, argilosos e com rico material orgânico contribui para a variação observada na composição de espécies de oligoquetas, confirmando que diferenças relacionadas ao substrato constituem um importante fator para a distribuição desses invertebrados na natureza e nos corpos d'água, troncos e solos (Sauter & Gude 1996). O aumento das chuvas e consequente escoamento mais rápido na estação chuvosa é um dos principais fatores causadores de variação na estrutura de comunidades bentônicas em riachos tropicais (Battistoni *et al.* 2010).

A variação da estrutura da comunidade entre os tipos de mesohabitats e a presença de espécies indicadoras ambientais de tipos específicos de habitats nos dois biomas demonstra a importância da heterogeneidade para oligoquetas na fauna das regiões tropicais. Por outro lado, a baixa abundância total de indivíduos encontrados neste estudo pode ser explicada pela presença de potenciais predadores de oligoquetas ou do uso intensivo dos solos em regiões com forte potencial agrícola como é o caso da região norte e leste maranhense.

Em ambientes degradados e organicamente poluídos, é comum encontrar uma grande abundância de vermes, possivelmente favorecidos pela ausência de organismos mais sensíveis e eliminação de competição e predação (Martins *et al.* 2008) como foi observado no cerrado maranhense, onde as áreas coletadas apresentaram vestígios de queimadas e derrubadas de árvores.

Os resultados demonstraram também que as comunidades de oligoquetas têm preferências por tipos de habitats, sendo as espécies obtidas a partir do TSBF adaptado por Decãens *et al.* (2016) residirem em substratos mais úmidos, sempre próximas a riachos ou próximas aos troncos de árvores, com densa serrapilheira, acredita-se que o substrato é o componente com maior influência na distribuição desses invertebrados.

Essa rica diversidade da comunidade de minhocas na transição é resultado das coletas quantitativas e da complementação do método TSBF feitas por Decãens *et al.* (2016), o que permitiu uma maior expansão das áreas e alcance das minhocas. As categorias ecológicas mais abundantes foram endógenas e epigéicas, sendo as maiores responsáveis pelas diversas alterações na estrutura física do solo e na disposição dos recursos, sendo este grupo considerado como “engenheiros de ecossistemas terrestres” (Jones *et al.* 1994). As espécies anécicas, conforme indicado por Bouché (1977;1972) e Bottinelli *et al.* (2020), por serem despigmentadas em partes, dificulta a homocromia, diminuindo a proteção visual dessas minhocas contra predadores, revelando por meio desse fator a maior proporção desse grupo de minhocas vivendo abaixo do solo, sendo consideradas ou denominadas como minhocas, alimentando-se de lixo, vivendo em tocas semi-verticais (Lumbricidae anécicas) e geófagos, que raramente ou nunca aparecem na superfície do solo.

Esta classificação de minhocas sugere que uma sucessão de minhocas de diferentes tipos ecológicos podem ser envolvidos no processamento da matéria orgânica do solo.

Assim, a descrição das minhocas listadas neste trabalho revela a importância da presença desses organismos com os serviços ecossistêmicos prestados no solo, o que possibilitou entender a importância das minhocas nas respostas à degradação da paisagem, e sua associação com solos perturbados (Marichal *et al.* 2017), com variação nos valores relativos para densidade e biomassa, enquanto minhocas anécicas, com forte pigmentação dorsal são comumente encontradas em maiores proporções em locais mais conservados, o que raramente foram relatados nesta pesquisa, pois as espécies epigeicas em maior proporção estão associadas a alta sensibilidade e perda de serapilheira, por serem espécies de pequeno porte, que se alimentam de serapilheira ou residem na serapilheira, sem moela visível e comumente associadas a ambientes preservados (Marichal *et al.* 2017).

Conclusão

O método TSBF adaptado por Decãens *et al.* (2016) com coleta qualitativa foi o método mais indicado para coleta de invertebrados do solo, sendo este um método amplo para coleta das principais categorias de minhocas do solo, como as mais relatadas nesta pesquisa, epigeicas e endogeicas. As categorias ecológicas descritas nessa listagem revela a importância desses invertebrados para o solo, são peças chave nos processos físicos e químicos, na disponibilidade dos nutrientes, na conservação e restauração de áreas degradadas, na estruturação e manutenção da vida no solo.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Maranhão (FAPEMA), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Agradecemos a colaboração de todos os coletores e todos os membros do Instituto Chico Mendes (ICMBio) e dos guardas florestais da Reserva Biológica do Gurupi pelo apoio. Agradecemos também aos alunos da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) que nos auxiliaram em campo e laboratório,

agradecemos também a significativa colaboração dos estudantes Lesbia e Sandriel durante as análises de dados e correções. A UEMA nos forneceu apoio logístico.

Bibliografia

Anderson, J. M. & Ingram, J. S. I. (Eds.) (1993). Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods (2nd ed.). Wallingford: CAB International. *Scientific research*.

Battistoni, D., Favassa, C.T.A., Triques, R., Barp, E.A. and Rodrigues, G.G., 2010. Composição faunística de macroinvertebrados bentônicos ocorrentes na parte baixa do Rio Jacutinga, Concórdia, SC. *Ágora: Revista de Divulgação Científica*, vol. 17, p. 20–31.

Bouche, M.B. (1972) Lombriciens de France. *Ecologie et systématique*, INRA, Paris.

Bouche, M.B. (1977) Strategies lombriciennes, *Ecological bulletins, (Stockholm)* 25, 122–132.

Bottinelli, N.; Hedde, M.; Jouquet, P. & Capowiez, Y. (2020) An explicit definition of earthworm ecological categories – Marcel Bouché’s triangle revisited. *Geoderma*. 372. 114361 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114361>

Brown, G.G. & James, S.W. (2007) Ecologia, biodiversidade e biogeografia das minhocas no Brasil. In: *Brown, G.G. & Fragoso, C. (Eds.), Minhocas na América Latina: Biodiversidade e ecologia*. 10, 297–381.

Carvalho et al. (2017) *Abordagem sobre o uso de minhocas como bioindicadoras de qualidade de solo: uma revisão*. Sistema Eletrônico de Administração de Eventos - UERGS, VII Salão integrado de ensino, pesquisa e extensão, III Jornada de Pós-graduação e II Seminário sobre Territorialidade, 2 (3).

Decaëns, T., Porco, D., James, S.W., Brown, G.G., Chassany, V., Dubs, F., Dupont, L., Lapied, E., Rougerie, R., Rossi, J.P. & Roy, V. (2016) DNA barcoding reveals diversity patterns of earthworm communities in remote tropical forests of French Guiana. *Soil Biology and Biochemistry*, 92, 171–183.

Gorni, G.R. & Alves, RG. (2012). Oligoquetos (Annelida, Clitellata) em um córrego neotropical: uma abordagem do mesohabitat. Iheringia. *Série Zoologia*, 102, 1, 106–110.

Hernández-García, L.M. et al. (2018a) Three new species of *Holoscolex* (*Clitellata*, *Glossoscolecidae*) from the Gurupi Biological Reserve, last forest remnant of the Belém Endemism Area, Eastern Amazon. *Zootaxa*, 1, 4496, 459–471.

Hernández-García, L.M. et al. (2018b). *Brasilisia* n. gen. and *Arraia* n. gen., two new genera of Ocnodrilidae (Annelida, Clitellata, Oligochaeta) from Eastern Amazonia, Brazil. *Zootaxa*, 1, 4496, 472–480. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4496.1.36>.

Hernández-García, L.M. et al. (2018c). Additions to *Andiorrhinus* (*Turedrilus*) (Rinodrilidae, Clitellata) from Eastern Amazonia. *Zootaxa*, 1, 4496, 481–491.

Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos Cartográficos – IMESC (2019). *Relatório Técnico de Pedologia do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão (ZEE) - Etapa Bioma Amazônico*. Elienê Pontes de Araújo; Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias; Paulo Henrique de Aragão Catunda (coordenadores). São Luís: IMESC.

National Institute for Space Research – INPE (2017) *Monitoring of forest cover in the Amazon by satellite - Prodes, Deter, Degrad and Queimadas systems*. São José do Campos: INPE.

Jones, C. G., Lawton, J. H. & Shachak, M. (1994) Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69, 373–386.

Junior, C.H.S.L. et al. (2020) Floresta amazônica à beira do colapso no estado do Maranhão, Brasil, *Revista Science*, 97.

Lavelle, P. et al. (1994) The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. In: WOOMER, P. L.; SWIFT, M. J. (Eds). *The biological management of tropical soil fertility*. New York: John Wiley & Sons, cap. 6, 137–169.

Lavelle, P.; Decaens, T.; Aubert, M.; Barot, S.; Blouin, M.; Bureau, F.; Margerie, P.; Mora, P. & Rossi, J.-P. (2006) Soil invertebrates and ecosystem services, *European Journal of Soil Biology*, 42.

Martins, M.B. & Oliveira, T.G. (2011). *Amazônia Maranhense: Diversidade e Conservação*, Belém: MPEG, 328 pp.

Martins, R.T., Stephan, N.N.C. & Alves, R.G. (2008) Tubificidae (Annelida: Oligochaeta) as an indicator of water quality in an urban stream in southeast Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 20, 221–226.

Marichal, R., Praxedes, C., Decaens, T., Grimaldi, M., Oszwald, J., Brown, G.G., Oliveir, T.D.M.N.D., Júnior, M.L.S., Martinez, A.F., Velasquez, E. & Lavelle, L. (2017) Características funcionais das minhocas, degradação da paisagem e serviços ecossistêmicos no arco de desmatamento da Amazônia brasileira. *Jornal Europeu de Biologia do Solo*, 83, 43–51.

Michaelsen, W. (1900) Zur Kenntnis der Geoscoleciden Südamerikas. *Zoologischer Anzeiger*, Leipzig, [s. I.], 23, 53–56.

Plisko, J. D. & Nxele, T. C. (2015) An annotated key separating foreign earthworm species from the indigenous South African taxa (*Oligochaeta*: *Acanthodrilidae*, *Eudrilidae*, *Glossoscolecidae*, *Lumbricidae*, *Megascolecidae*, *Microchaetidae*, *Ocnerodrilidae* and *Tritogeniidae*). *African Invertebrates*. 3 (56), 663–708.

Righi, G. (1972) *Contribuição ao conhecimento dos oligoquetas brasileiros*. Papéis Avulsos de Zoologia, São Paulo, 18 (25), 149–166.

Righi, G. (1985) Sobre *Rhinodrilus* e *Urobenus*. *Boletim de Zoologia*, Universidade de São Paulo, 9, 231–257.

Rousseau, G. X., Silva, P.R.S. & Carvalho, C. J. R. (2010) Earthworm ants and other arthropods as soil health indicators in traditional and no fire agro-ecosystems from Eastern Brazilian Amazonia. *Acta Zoologica Mexicana*, [s. l.] 2, 117–134.

Santos, B. T. et al. (2017) New species of *Righiodrilus* (*Clitellata*, *Glossoscolecidae*) from eastern Amazonia, *Zootaxa*, 2 (4242), 392–400.

Sauter, G. & Gude, H. (1996) Influence of grain size on the distribution of Tubificidae *Oligochaeta* species. *Hydrobiologia*, 334, 97–101.
<http://dx.doi.org/10.1007/BF00017358>.

ANEXOS

Tabelas

Tabela 1: Densidade de minhocas (ind.m⁻²) e biomassa (g.m⁻²) média e índice de diversidade por camada de solo amostrada pelo método TSBF. Descrição dos Municípios, camada do solo, monólitos, densidade, biomassa, riqueza média, riqueza total, riqueza rarefeita, índices de Shannon e Simpson.

Municipali ty	Layer	Monoliths	Density (Ind.m ⁻²)	Biomass (g.m ⁻²)	Richness mean	Total Richness	Rarified Richness	Shannon	Simpson	d
Alcântara	L	445	0.26±1.09	-	0.03±0.18	1.00	0.26±0.44	0±0	0.97±0.18	0±0
Alcântara	0-10	445	30.3±34.08	-	1.49±1.26	17.00	5.72±1.65	0.23±0.42	0.27±0.37	0.17±0.31
Alcântara	10-20	61	4.04±3.56	-	0.7±0.82	9.00	8.41±0.73	0.08±0.25	0.53±0.48	0.05±0.16
Caxias	L	54	0±0	0±0	0±0	0.00	-	0±0	1±0	0±0
Caxias	0-10	54	2.89±5.36	0.88±1.64	0.67±1.08	5.00	4.05±0.80	0.13±0.3	0.69±0.43	0.08±0.21
Caxias	10-20	54	0.94±1.59	0.14±0.24	0.28±0.46	2.00	2±0	0±0	0.72±0.46	0±0
Centro Novo	L	145	0.41±1.07	-	0.02±0.16	1.00	0.22±0.41	0±0	0.98±0.16	0±0
Centro Novo	0-10	145	12.07±13.9 6	-	1.29±1.25	16.00	6.84±1.70	0.26±0.42	0.43±0.42	0.17±0.3
Centro Novo	10-20	86	3.5±5.59	-	0.5±0.73	6.00	4.81±0.92	0.06±0.22	0.64±0.47	0.03±0.13
Igarapé Açú	L	252	1.17±3.09	-	0.25±0.55	4.00	1.28±0.87	0.04±0.15	0.83±0.36	0.03±0.14
Igarapé Açú	0-15	252	158±100.6 9	-	4.08±2.31	13.00	9.14±1.22	0.64±0.55	0.32±0.28	0.55±0.4
Itinga do Maranhão	L	80	0.71±1.16	-	0.04±0.2	1.00	0.4±0.49	0±0	0.96±0.2	0±0
Itinga do Maranhão	0-10	80	8.92±8.25	-	0.88±0.85	9.00	5.51±1.2	0.13±0.27	0.46±0.46	0.08±0.16
Itinga do Maranhão	10-20	60	3.65±3.15	0.25±0.34	0.6±0.68	6.00	5.59±0.98	0.07±0.2	0.55±0.48	0.04±0.12

Rosário	L	64	5.69±11.02	-	0.23±0.44	1.00	0.94±0.23	0±0	0.77±0.44	0±0
Rosário	0-10	64	66.23±25.6	-	1.77±0.93	6.00	0.13±0.17	0.18±0.23	0.09±0.14	0.16±0.19
São José do Ribamar	L	32	0.88±2.1	-	0±0	0.00	-	0±0	1±0	0±0
São José do Ribamar	0-10	32	17.38±16.8	-	0.75±1.16	4.00	4±0	0.09±0.18	0.67±0.46	0.09±0.18
São José do Ribamar	10-20	12	1.75±1.71	0.12±0.1	0±0	0.00	-	0±0	1±0	0±0
São Luís	L	46	0±0	-	0±0	0.00	-	0±0	1±0	0±0
São Luís	0-10	46	49.5±47.65	-	2.1±2.08	6.00	5.39±0.92	0.51±0.56	0.59±0.37	0.27±0.35
Tomé Açú	L	132	1.17±5.21	-	0.04±0.21	1.00	0.42±0.49	0±0	0.96±0.21	0±0
Tomé Açú	0-10	132	84.52±41.7	-	1.17±0.49	5.00	2.15±0.88	0.02±0.04	0.05±0.21	0.04±0.08

Tabela 2: Categorias ecológicas de minhocas por camada de solo amostradas com o método TSBF. Descrição dos Municípios, camada do solo, categorias ecológicas (Epi-Endogeica, Epi-Anecica, Endo-Anecica, Endogeica, Polyhumica Endogeica, Mesohumica Endogeica e desconhecida).

Municipality	Layer	Ecological categories						Unknow
		Epi-Endogeic	Epi-Anecic	Endo-Anecic	Endogeic	Polyhumic endogeic	Mesohumic Endogeic	
Alcântara	L	-	-	-	-	-	-	1
Alcântara	0-10	5	-	1	10	-	-	1
Alcântara	10-20	2	-	1	5	-	-	1
Caxias	L	-	-	-	-	-	-	-
Caxias	0-10	1	1	-	2	-	-	1
Caxias	10-20	-	-	-	1	-	-	1
Centro Novo	L	-	-	-	-	-	-	1
Centro Novo	0-10	3	-	1	9	1	1	1
Centro Novo	10-20	-	-	1	4	-	-	1

Igarapé Açú	L	-	-	-	1	-	-	1	2
Igarapé Açú	0-15	-	1	-	2	-	1	1	8
Itinga do Maranhão	L	-	1	-	-	-	-	-	-
Itinga do Maranhão	0-10	-	2	-	1	-	5	1	-
Itinga do Maranhão	10-20	-	1	-	-	-	4	1	-
Rosário	L	-	-	-	-	-	-	1	-
Rosário	0-10	-	2	-	1	-	2	1	-
São José do Ribamar	L	-	-	-	-	-	-	-	-
São José do Ribamar	0-10	-	-	-	1	-	2	1	-
São José do Ribamar	10-20	-	-	-	-	-	-	1	-
São Luís	L	-	-	-	-	-	-	-	-
São Luís	0-10	-	2	-	-	-	3	1	-
Tomé Açú	L	-	-	-	-	-	-	1	-
Tomé Açú	0-10	-	1	-	1	-	2	1	-

Tabela 3: Densidade de minhocas (ind.m⁻²) e biomassa (g.m⁻²) média e índices de diversidade por parcela amostrada pelo método TSBF adaptado por Deçaens. Descrição dos Municípios, camada do solo, monólitos, densidade, biomassa, riqueza média, riqueza total, riqueza rarefeita, Índice de Shanon e Simpson.

Municipal ity	Plot	Density (Ind.m ⁻²)	Biomass (g.m ⁻²)	Richness mean	Total Richnes s	Rarified Richness	Shannon	Simpson	Pielou	d
Alcântara	18	75±33.51	6.16±4.9	4.06±2.41	15	15±0	0.8±0.64	0.4±0.31	0.45±0.33	-
Caxias	18	42.56±39.41	5.72±6.06	1.67±1.5	7	7±0	0.2±0.34	0.22±0.33	-	-
Centro Novo	28	92.93±57.05	26.22±13.98	5.11±2.11	21	17.61±1.29	0.99±0.51	0.48±0.24	0.53±0.24	-

Itinga do Maranhão	20	112±107.66	37.06±28.77	4.75±1.77		12	11.89±0.30	1.02±0.52	0.51±0.25	0.58±0.24	1.09±0.56
São José do Ribamar	4	22.5±15.37	9.75±3.08	-	-	-	-	-	-	-	-
São Luís	2	12±8.49	3.6±0.32	0.5±0.71		2	-	0±0	0.5±0.71	-	0±0

Tabela 4: Categorias ecológicas de minhocas por parcela de solo amostrado com o método TSBF adaptado por Decaëns. Descrição dos Municípios, camada do solo, categorias ecológicas (Epi-Endogeica, Epi-Anecica, Endo-Anecica, Endogeica, Polyhumica Endogeica, Mesohumica Endogeica e desconhecida).

Municipality	Plot	Epi-Endogeic	Epi-Anecic	Endo-Anecic	Endogeic	Polyhumic endogeic	Mesohumic Endogeic	Unknow
Alcântara	18	4	-	3	6	-	1	-
Caxias	18	3	1	-	3	-	1	-
Centro Novo	28	4	-	2	12	1	1	1
Itinga do Maranhão	20	3	-	2	6	-	1	-
São José do Ribamar	4	-	-	-	-	-	-	-
São Luís	2	-	-	-	1	-	-	-

Tabela 5: Categorias ecológicas de minhocas em uma amostra de solo de um 1m² no método TSBF adaptado por Decaëns. Descrição dos Municípios, camada do solo, categorias ecológicas (Epi-Endogeica, Epi-Anecica, Endo-Anecica, Endogeica, Polyhumica Endogeica, Mesohumica Endogeica e desconhecida).

Municipality	Plot	Epi-Endogeic	Epi-Anecic	Endo-Anecic	Endogeic	Polyhumic endogeic	Mesohumic Endogeic	Unknow
Alcântara	18	2	-	-	1	3	-	1
Caxias	18	-	-	-	-	3	-	1
Centro Novo	28	2	-	-	2	5	-	1
Itinga do Maranhão	20	1	-	-	2	5	-	1
São José do Ribamar	4	-	-	-	-	-	-	-
São Luís	2	-	-	-	-	-	-	-

