



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS COM ÊNFASE
EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

ÍTALO IAN MONTEIRO DA SILVA

**EFEITO DA REGENERAÇÃO NATURAL DE UMA FLORESTA SECA DA
CAATINGA SOBRE A COMUNIDADE DE NEMATÓIDES DO SOLO**

Recife
2022

ÍTALO IAN MONTEIRO DA SILVA

**EFEITO DA REGENERAÇÃO NATURAL DE UMA FLORESTA SECA DA
CAATINGA SOBRE A COMUNIDADE DE NEMATOIDES DO SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Ciências Biológicas com ênfase em Ciências
Ambientais, da Universidade Federal de
Pernambuco, como parte dos requisitos à
obtenção do grau de Bacharel em Ciências
Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. André Morgado Esteves

Coorientadora: Dra. Juliane Vanessa Carneiro de Lima da Silva

Recife

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Monteiro, Ítalo Ian Monteiro da Silva.

Efeito da regeneração natural de uma floresta seca da Caatinga sobre a comunidade de nematoides do solo / Ítalo Ian Monteiro da Silva Monteiro. - Recife, 2022.

46 : il., tab.

Orientador(a): André Morgado Esteves

Cooorientador(a): Juliane Vanessa Carneiro de Lima Da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas /Ciências Ambientais - Bacharelado, 2022.

1. Caatinga. 2. Distúrbio antrópico . 3. Ecologia do solo. 4. Floresta Tropical Sazonalmente Seca. 5. Nematode. I. Esteves, André Morgado . (Orientação). II. Da Silva, Juliane Vanessa Carneiro de Lima. (Coorientação). III. Título.

570 CDD (22.ed.)

ÍTALO IAN MONTEIRO DA SILVA

**EFEITO DA REGENERAÇÃO NATURAL DE UMA FLORESTA SECA DA
CAATINGA SOBRE A COMUNIDADE DE NEMATOIDES DO SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Ciências Biológicas com ênfase em Ciências
Ambientais, da Universidade Federal de
Pernambuco, como parte dos requisitos à
obtenção do grau de Bacharel em Ciências
Biológicas.

Data de Aprovação: ____/____/____

Nota: _____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. André Morgado Esteves (Orientador)
Departamento de Zoologia - UFPE

Dra. Maria Fernanda Pereira de Oliveira (1º Titular)
Departamento de Botânica - UFPE

MSc. David José dos Santos (2º Titular)
Departamento de Botânica – UFPE

Dra. Patrícia Fernandes Neres (Suplente)
Departamento de Zoologia - UFPE

RECIFE
2022

AGRADECIMENTOS

Escrevo esses agradecimentos da forma mais nostálgica e com imensa gratidão a todos que contribuíram para minha conclusão de curso. Primeiramente, agradeço a Deus por ter me proporcionado esse momento em ter chegado ao fim dessa etapa incrível e louca que foi minha graduação. Em segundo agradeço aos meus pais que fazem o melhor para que eu conclua meus objetivos, sei o quanto batalham para me proporcionar as melhores condições e seguir meus sonhos e trilhar meu caminho. Aprendi sendo filho de Rosângela, professora, e filho de Isaías, dono da reciclagem, que os estudos podem proporcionar as melhores oportunidades, então muito obrigado. Agradeço também aos meus irmãos por (na maioria das vezes rs) me darem exemplo de sabedoria.

A toda equipe incrível do laboratório de meiofauna que contribuíram desde da minha entrada nesta área, quando iniciei os treinamentos e me ensinaram o passo a passo desde a etapa de pescaria (com muita paciência) até análises estatísticas. MSc. Tarciane Pires, MSc. Aliny Barreto, Dr^a. Patrícia Neres, Dr^a. Rita Lima, doutorando Alex Silva e a minha colega Débora Gênesis (a duplinha do solo <3), meus sinceros e muito obrigado pelas dicas, ajudas, puxões de orelha, intervalos do cafezinho e confraternizações hilárias que proporcionam bons momentos. Agradeço aos meus orientadores, professor André Esteves e Dr^a. Juliane Carneiro por terem me ensinado tudo sobre nematologia terrestre, e oportunidade de ser bolsista durante todos os projetos de iniciação científica, o qual foram fundamentais para meu desenvolvimento profissional.

A todos os meus amigos que ganhei ao longo do curso Arthur Felipe, Larissa Moraes, Rubia Rago, Lettícia Lima, Samantha Cavalcanti, Diego Nascimento, Danielle Kelly e Gabriela Brito, muito obrigado por tornarem a graduação uma etapa incrível de presenciar (apesar de muita polemica, estresse e brabas vividos nesse grupinho rrsrsrs). Pollyanna Rocha, Iasmim Mesquita, Jobson Kerly, obrigado por me aturarem e proporcionarem momentos felizes nessa reta final e pela ajuda nesse caos que é a vida (rs). E por fim, mas não menos importante, agradeço a mim mesmo pela persistência que tive, decisões e escolhas tomadas que me fizeram continuar nessa jornada.

Ressalto meus agradecimentos também, às políticas de cotas que vêm promovendo igualdade e inclusão dentro das universidades públicas, bem como as agências de fomento pelas bolsas de pesquisas, ciência no Brasil é luta e resistência.

RESUMO

A Caatinga suporta processos crescentes de perturbações antrópicas, como por exemplo, a mudança de uso do solo para práticas agrícolas/pecuária, com posterior abandono da terra o que cria oportunidades de regeneração da floresta, revertendo os efeitos negativos causados pelo desmatamento. Contudo, a maioria dos estudos de regeneração tem se concentrado em comunidades vegetais, mas pouco se tem dedicado à biota do solo e a prestação de seus serviços ecossistêmicos. Os nematoides do solo são bons indicadores da estrutura e função do solo, tendo em vista sua posição na cadeia alimentar do solo e também pelo fato que reagem rapidamente às mudanças ambientais. Diante disso, nós avaliamos o efeito da regeneração natural da vegetação nativa da Caatinga sobre a estrutura de comunidade e funções ecossistêmicas fornecidas pelos nematoides, bem como o seu potencial de indicação da saúde do solo em áreas regeneradas. O estudo foi realizado no Parque Nacional do Catimbau, no agreste de Pernambuco (Nordeste do Brasil), abrangendo 607 km² de vegetação de Caatinga. Foram selecionadas 4 (quatro) áreas, 3 (três) com vegetação em estágios de regeneração inicial (4 anos), média (17 anos) e avançado (45 anos) após o abandono da atividade agrícola e 1 (uma) área foi caracterizada como sem histórico de agricultura (floresta madura). Em cada área, foram analisadas a abundância e biomassa de carbono total dos nematoides e de cada grupo trófico (bacteriófagos, fungívoros, parasitas de plantas e onívoro-predadores). Um total de 13 famílias foram identificadas, onde a floresta madura e em regeneração média apresentaram maior riqueza com 10 famílias identificadas. Dentre as diferentes áreas, o estágio inicial e floresta madura teve a menor e maior abundância de nematoides, respectivamente. Nos grupos tróficos, os bacteriófagos foram predominantes com 61,91%, seguido dos parasitas de plantas (27,77%), fungívoros (5,63%) e predadores (4,67%). Apenas os bacteriófagos e parasitas de plantas diferiram significativamente entre as áreas. Os bacteriófagos foram mais abundantes no estágio final, seguido do estágio médio, floresta natural e estágio inicial. Já os parasitas de plantas foram mais abundantes na floresta natural do que nas demais áreas. Assim como os dados de abundância, a biomassa de carbono total dos nematoides, dos bacteriófagos e dos onívoro-predadores, dois grupos tróficos chave na cadeia alimentar, foram maiores no estágio final de regeneração e menores nos estágios iniciais. A condição da cadeia alimentar dos estágios inicial, médio e avançado foram caracterizadas como degradadas, com canais de decomposição dominados por fungos. Já na floresta madura, a cadeia alimentar apresentou condições estáveis e férteis, com canal de decomposição dominado por bactérias. Concluindo, verificamos que alguns indicadores refletem uma possível reversão dos efeitos negativos gerados pela atividade agrícola na Caatinga, a diversidade mostrou uma recuperação do distúrbio mais rápida em relação às funções ecossistêmicas prestadas pela comunidade de nematoides.

Palavras-chave: Caatinga; Distúrbio antrópico; Saúde do solo; Floresta tropical sazonalmente seca; Funções ecossistêmicas; Nematoda.

ABSTRACT

The Caatinga supports increasing processes of anthropic disturbances, such as the change of land use to agricultural/livestock practices, with subsequent land abandonment which creates opportunities for forest regeneration, reversing the negative effects caused by deforestation. However, most regeneration studies have focused on plant communities, but little has been devoted to soil biota and the provision of their ecosystem services. Soil nematodes are good indicators of soil structure and function, given their position in the soil food web. In view of this, we evaluated the effect of the natural regeneration of native Caatinga vegetation on community structure and ecosystem functions provided by nematodes, as well as their potential to indicate soil health in regenerated areas. The study was conducted in the Catimbau National Park, in the hinterland of Pernambuco (Northeast, Brazil), covering 607 km² of Caatinga vegetation. Four (4) areas were selected, three (3) with vegetation in initial regeneration stages (4 years), medium (17 years), and advanced (45 years) after the abandonment of agricultural activity, and one (1) area was characterized as without agricultural history (mature forest). In each area, the abundance and total carbon biomass of nematodes and each trophic group (bacteriophages, fungivores, plant parasites, and omnivore-predators) were analyzed. A total of 13 families were identified, where the mature and mid-regeneration forest presented the highest richness with 10 families identified. Among the different areas, the early-stage and mature forests had the lowest and highest abundance of nematodes, respectively. In the trophic groups, bacteriophages were predominant with 61.91%, followed by plant parasites (27.77%), fungivores (5.63%), and predators (4.67%). Only bacteriophages and plant parasites differed significantly between areas. Bacteriophages were most abundant in the late stage, followed by the middle stage, natural forest, and early stage. Plant parasites, on the other hand, were more abundant in the natural forest than in the other areas. Similar to the abundance data, the total carbon biomass of nematodes, bacteriophages, and omnivorous-predators, two key trophic groups in the food chain, were higher in the late regeneration stage and lower in the early stages. The condition of the food chain in the early, middle, and advanced stages were characterized as degraded, with decomposition channels dominated by fungi. In the mature forest, the food web showed stable and fertile conditions, with decomposition channels dominated by bacteria. In conclusion, we verified that some indicators reflect a possible reversal of the negative effects generated by agricultural activity in the Caatinga, the diversity showed faster recovery from the disturbance of the ecosystem functions provided by the nematode community.

Keywords: anthropic disturbance; soil health; Seasonally dry tropical forests; ecosystem function; Nematoda

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Classificação dos hábitos alimentares dos nematoides de acordo com a morfologia do aparato bucal. (a) bacteriófago, (b) fungívoro, (c) parasita de planta (d) predador e (e) onívoro.....	18
Figura 2 –	Esquema de interpretação onde cada quadrante contém a informação a respeito da condição da cadeia do solo; nível de perturbação; enriquecimento; razão C:N e canal de decomposição respectivamente embasada na análise da cadeia alimentar baseada nas comunidades de nematoides.....	20
Figura 3 –	Mapa da localização do Parque Nacional do Catimbau (PARNA-Catimbau) apresentando as parcelas de diferente idade de regeneração analisadas pelo PELD-Catimbau.....	24
Figura 4 –	Abundância total ($\pm$ desvio padrão) de nematoides (espécimes/300 cm ³ solo) nos estágios inicial, médio, final de regeneração natural da vegetação e área controle na Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco. Letras diferentes representam médias, estatisticamente, diferentes entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	28
Figura 5 –	Abundância média ($\pm$ desvio padrão) de cada grupo trófico de nematoides (espécimes/300 cm ³ de solo) nos estágios inicial, médio, final de regeneração natural da vegetação e área controle na Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco. BA: bacteriófagos; FU: fungívoros; OP: onívoro-predadores; PP: parasitas de plantas. Letras diferentes representam médias, estatisticamente, diferentes entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$). Letra maiúscula indicam diferenças significativas no mesmo tratamento dentre os diferentes grupos tróficos.....	29
Figura 6 –	Biomassa de carbono média ($\pm$ desvio padrão) de nematoides (espécimes/300 cm ³ solo) nos estágios inicial, médio, final de regeneração natural da vegetação e área controle na Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco. Letras diferentes representam médias, estatisticamente, diferentes entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$). Letra maiúscula indicam diferenças significativas no mesmo tratamento dentre os diferentes grupos tróficos.....	30
Figura 7 –	Biomassa média de carbono ($\pm$ desvio padrão) dos nematoides e de cada grupo trófico nos estágios inicial, médio, final de regeneração natural da vegetação e floresta madura (controle) na Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco. BA: bacteriófagos; FU: fungívoros; OP: onívoro-predadores; PP: parasitas de plantas. Letras diferentes são estatisticamente significantes pelo teste de Tukey ($p<0,05$). Letra maiúscula indicam diferenças significativas no mesmo tratamento dentre os diferentes grupos tróficos.....	31
Figura 8 –	Índice de enriquecimento (EI) e índice de estrutura (SI) dos estágios inicial, médio, final de regeneração e floresta natural (controle) do parque Nacional do Catimbau, Pernambuco.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Abundância relativa (%) de cada família de nematoides nos estágios de regeneração inicial, média e final, e área de floresta natural na Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco.....	27
Tabela 2 –	Índices de diversidade de nematoides nos estágios de regeneração inicial, média e final, e área de floresta natural na Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco.....	29
Tabela 3 –	Índices dos nematoides para cadeia alimentar do solo (EI, SI, BI e CI) na área controle (floresta natural) e nas áreas em processo de regeneração (inicial, média, final), na Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, PE.....	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1	CAATINGA: UMA FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE SECA.....	13
2.2	REGENERAÇÃO NATURAL E DISTÚRBIOS DA BIOTA TERRESTRE.....	15
2.3	DIVERSIDADE DE NEMATÓIDES E SEU POTENCIAL COMO BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO.....	17
3	OBJETIVOS.....	22
3.1	OBJETIVOS GERAIS.....	22
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
4	METODOLOGIA.....	23
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	23
4.2	COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO E EXTRAÇÃO DOS NEMATÓIDES.....	24
4.3	ANÁLISE DA COMUNIDADE DE NEMATÓIDES.....	25
4.4	ANÁLISE DE DADOS.....	26
5	RESULTADOS.....	27
5.1	AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE REGENERAÇÃO NATURAL DA CAATINGA SOBRE A ESTRUTURA DA COMUNIDADE DE NEMATÓIDES...	27
5.2	AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE REGENERAÇÃO NATURAL DA CAATINGA SOBRE A BIOMASSA DE CARBONO DOS GRUPOS TRÓFICOS DOS NEMATÓIDES.....	30
5.3	AVALIAÇÃO DA CADEIA ALIMENTAR DO SOLO ATRAVÉS DOS ÍNDICES DOS NEMATÓIDES.....	31
6	DISCUSSÃO.....	33
6.1	EFEITO DO PROCESSO DE REGENERAÇÃO NATURAL DA FLORESTA SOBRE A ESTRUTURA DA COMUNIDADE DE NEMATÓIDES.....	33
6.2	EFEITO DO PROCESSO DE REGENERAÇÃO NATURAL DA FLORESTA SOBRE A ATIVIDADE METABÓLICA DOS NEMATÓIDES.....	35
6.3	EFEITO DA REGENERAÇÃO NATURAL DA CAATINGA NA SAÚDE DO SOLO ATRAVÉS DOS ÍNDICES DOS NEMATÓIDES.....	36
7	CONCLUSÃO.....	38
8	REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

A modificação do habitat é considerada como uma das causas primárias do declínio da biodiversidade (SALA et al. 2000). A conversão de florestas maduras em paisagens antrópicas (favorecendo a monocultura e urbanização) implica em uma reorganização da biodiversidade em diferentes níveis de organização ecológica, de populações ao nível de ecossistemas (POORTER et al., 2021). Em muitos casos essas áreas são abandonadas e passam por mudanças significativas ao longo da sucessão secundária no que diz respeito à composição taxonômica da fauna e da flora, assim como os processos que ocorrem com a biota abaixo do solo sendo esses, constituindo um elemento chave para a persistência da biodiversidade e provisão de serviços ecossistêmicos (BELLO et al., 2015). As florestas secundárias já representam mais da metade de todas as florestas tropicais no mundo (FAO, 2010) e as regiões remanescentes de floresta que restam tendem a ser convertidas em paisagens modificadas pelo homem o que aumenta a cobertura das florestas secundárias (CHAZDON, 2014).

Dentre as florestas que mais são afetadas pelas mudanças antrópicas destacam-se as florestas tropicais sazonalmente secas (FTSS). A biodiversidade das FTSS vem sendo afetada por perturbações de origem agudas como a retirada imediata da biomassa vegetal pela prática da agricultura de corte-e-queima ou crônicas como a retirada contínua da biomassa vegetal através do desmatamento (BANDA-R et al., 2016). A compreensão dos mecanismos que conduzem à degradação ecológica em habitats tem sido ainda um desafio para os ecologistas, mas além disso, é importante entender como a afetam os grupos funcionais das plantas e dos animais (LUQUE et al. 2013). Porém, outro mecanismo que requer estudos aprofundados é a regeneração natural das florestas, sendo uma prática amplamente considerada de eficaz e de baixo custo no sequestro do carbono atmosférico, principalmente em regiões tropicais (CHAZDON et al., 2016). A maioria dos estudos de regeneração tem se concentrado em comunidades vegetais, principalmente em seus efeitos negativos nas espécies, mas pouco se tem dedicado à biota do solo.

Os nematoides são animais invertebrados pertencentes ao filo Nematoda, um dos grupos mais abundantes e diversificados do planeta. A plasticidade genômica tem garantido a esses organismos a diversificação de formas, hábitos alimentares e a capacidade de se adaptar a variadas condições ambientais de todas as latitudes do planeta onde haja carbono orgânico. Dessa forma, os nematoides podem ser usados como indicadores da estrutura e funcionamento da cadeia alimentar do solo e das condições gerais do ecossistema (NEHER,

2010). Por ocuparem uma posição central na cadeia alimentar, possuindo uma diversidade de grupos tróficos (bacteriófagos, fungívoros, parasitas de plantas, onívoros-predadores) e diferentes estratégias de vida, os nematoides respondem rapidamente à alteração no ambiente (YEATES et al., 1993). Além disso, o fato de viverem em comunidades multiespecíficas, em que cada espécie desempenha uma função e apresentam sensibilidades diferenciadas aos estímulos do ambiente, confere aos nematoides a qualidade de excelentes indicadores de distúrbios ambientais (CARES; HUANG, 2010) principalmente por responderem a heterogeneidade vegetal, nível de água de solo e cobertura vegetal, e disponibilidade de recursos (DICKIE et al., 2011).

A Caatinga, representa as FTSS no Brasil, é composta por mosaicos constituídos por manchas de floresta seca e de vegetação arbustiva, desde a escala local até a regional, tem enfrentado forte pressão antrópica e mudanças climáticas (RITO et al., 2017). Localizada no interior do semiárido do Nordeste do Brasil, a Caatinga compreende uma área total de 912.529 km² e representa um ecossistema de extrema importância, em função da sua diversidade vegetal e da flora (SILVA; LEAL; TABARELLI, 2017). Em diferentes escalas espaciais, a Caatinga pode ser descrita como um sistema socioecológico (sensu FU et al., 2013) dependente e ancorado no extrativismo, incluindo os nutrientes do solo e da vegetação, os quais são continuamente perdidos/exportados através da produção agrícola e animal (RAMOS et al., 2008), mas quase nunca reintroduzidos no sistema por técnicas de manejo agrícola (sociedades rurais baseadas no extrativismo). Diante de inúmeras problemáticas é necessário analisar não só a fauna e flora acima do solo como também todos os organismos e processos que ocorrem abaixo do mesmo, aqui, usamos as comunidades de nematoides para descrever o efeito do abandono da terra seguido da regeneração natural da Caatinga.

Diante disso, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da regeneração natural da vegetação nativa da Caatinga sobre a estrutura de comunidade e funções ecossistêmicas fornecidas pelos nematoides e como isso implica na saúde do solo. Nossa hipótese é de que o aumento do tempo de regeneração natural da Caatinga favorece o aumento da comunidade de nematoides bem como as funções ecossistêmicas prestadas pelo grupo e altera o estado de saúde do solo. Logo, sugerimos que (1) a abundância e a riqueza dos nematoides irá aumentar após o abandono da prática agrícola e regeneração natural da vegetação nativa da Caatinga; bem como (2) o aumento da atividade metabólica e funções ecossistêmicas desempenhadas por cada grupo trófico dos nematoides; (3) através de índices de saúde do solo, a cadeia alimentar apresentará diferenças nas áreas após o abandono da prática agrícola e regeneração natural da vegetação nativa da Caatinga.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CAATINGA: UMA FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE SECA

Dos cerca de 14,5 milhões de quilômetros quadrados de floresta tropical que já cobriu a superfície do planeta terra, apenas 36 % permanecem intactos (KROGH, 2019). De acordo com o último relatório da FAO (2020), as florestas dominam 31% do globo terrestre (Rússia, Brasil, Canadá, Estados unidos e China abrigam mais da metade das florestas) desse total, as florestas tropicais regem 45% sendo metade desse valor caracterizado por Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (FTSS). As FTSS são caracterizadas principalmente pelo tempo, frequência e duração dos períodos secos (PENNINGTON; LEHMANN; ROWLAND, 2018), assim como, seu estrato arbóreo caducifólio predominante, alto índice de radiação solar e elevada taxa de evapotranspiração. Sua ocorrência é restrita em áreas com temperatura média anual acima de 17°C, cuja precipitação média anual varia de 500 mm a 1800 mm, sendo 5-6 meses recebendo menos que 100 mm de chuva (FREIRE et al, 2015). Além do tempo de estiagem são caracterizadas pela latitude e presença de correntes quentes e frias onde estão localizadas (PENNINGTON et al., 2009; MURPHY; LUGO, 1986). Grande parte dessas FTSS estão localizadas na América do Sul, África Subsaariana e nordeste da Índia, com porções consideráveis no sudeste da Ásia, norte da Austrália e partes do Pacífico, América Central e Caribe (BLACKIE et al., 2014).

As FTSS possuem um estrato arbóreo e árvores com área basal menores do que as florestas úmidas, na estação seca a vegetação é decídua predominando espécies suculentas e espécies com espinhos. As famílias Fabaceae e Bignoniaceae dominam dentre as espécies lenhosas (MURPHY; LUGO, 1986; PENNINGTON et al., 2009; GENTRY et al., 1995). Devido a intensa conversão de floresta para terras agrícolas, as FTSS foram descritas por Sanchez-Azoeifa (2011) como o ecossistema terrestre mais ameaçado do mundo, isso, dá-se ao fato de que menos de um terço delas estão legalmente protegidas (MILES et al., 2006). Ainda segundo Miles (2006) a América do Sul possui o maior remanescente de florestas secas do mundo (54,2%). Grande parte das ameaças está atrelado ao desmatamento, além da histórica ocupação populacional dessas regiões, onde a maioria da população é baixa renda e sofre com a vulnerabilidade econômica, o que as tornam extremamente dependente dos recursos florestais como lenha, madeira e uso da terra para a agricultura e criação de gado (RIBEIRO et al., 2015). Como consequência dessas perturbações antrópicas crônicas e agudas, previsões de estudos climáticos preveem aumento do período de estiagem e diminuição da precipitação nas FTSS (CHADWICK et al., 2016).

Representando o Brasil no conjunto das FTSS, a Caatinga ocupa 10% do território nacional e 70% do território nordestino. Apresenta cerca de 12 fitofisionomias que vão de áreas arbóreas a regiões savânicas que somam cerca de 912.529 km² (IBGE, 2014). A temperatura média anual é de 25°C a 30°C, já a precipitação varia a cada ano e localidade, quase 70% da caatinga recebe 600 a 1.000 mm de chuva por ano. O relevo é composto por depressões de com altitudes que variam de 100 a 500m (SILVA et al., 2018; MMA/IBAMA 2011). O tipo de solo que compõem a Caatinga é variado, com solos rasos, rochosos e relativamente férteis de embasamento cristalino (70%) a solos arenosos pouco férteis de bacias sedimentares (30%) (SAMPAIO, 1995).

A fauna e a flora da Caatinga são bastante diversificadas e com índices relativamente altos de endemismos quando comparado a outras florestas. A biodiversidade vegetal apresenta 3.150 espécies, sendo um terço delas endêmicas (SILVA et al., 2018; QUEIROZ et al., 2017). A diversidade animal também é muito bem representada com altas taxas de riqueza e endemismo, sendo considerada por Garda (2017) uma das regiões semiáridas mais biodiversas do mundo, com 1.400 espécies de vertebrados, sendo 23% delas endêmicas da caatinga. No entanto, estudos a respeito da diversidade de invertebrados na caatinga, principalmente a meiofauna, carecem de estudos aprofundados.

Apesar de ser um ecossistema de extrema importância e vital para provisão de serviços ecossistêmicos, a Caatinga vem sendo negligenciada no que diz respeito às políticas públicas e estudos científicos, ocupando a terceira posição no ranking de ecossistema mais ameaçado, ficando atrás apenas da Mata atlântica e Cerrado (IBGE, 2014). Segundo Silva e Barbosa (2017), cerca de 63% da Caatinga já sofreu com o processo de antropização e possivelmente isso está atrelado ao fato desse ecossistema assim como na maioria das FTSS no mundo suportar população humana que dependem dos recursos florestais para subsistência como, agricultura familiar, uso da lenha/madeira, criação de rebanho de caprinos e bovinos, no caso da Caatinga os 27 milhões de habitantes em sua área (SILVA et al., 2018; LEAL et al. 2003). Essas ocupações são datadas no início do século XVI quando se iniciou o assentamento dos primeiros povoados dando início a agricultura, uso do fogo e domesticação de animais (COIMBRA-FILHO; CÂMARA, 1996). Todo esse histórico de ocupação e mudanças na paisagem acabam por afetar a vegetação natural que após o abandono de terras agrícolas são caracterizadas pela sucessão vegetacional, criando oportunidades para o estudo das dinâmicas ocorridas por esse processo.

2.2 REGENERAÇÃO NATURAL E DISTÚRBIOS DA BIOTA TERRESTRE

Após uma grande perturbação de tendência antrópica ou natural, dá-se início ao processo de regeneração natural ou sucessão secundária, que é definida por Chazdon (2012) como a reorganização de uma comunidade biológica a nível de abundância, biomassa e composição de espécies após o ecossistema perder sua vegetação natural. Essa mudança vegetacional progressiva está ligada às alterações abióticas ocorridas no local, tais como temperatura do solo, umidade e fertilidade do solo por exemplo, outros fatores de extrema importância deve ser levado em consideração como o banco de sementes disponíveis bem como o índice de dispersão das mesmas, o histórico de uso da terra, tempo de perturbação, retenção de água no solo e disponibilidades de nutriente entre outras características, sendo a severidade de perturbação o fator chave que pode acelerar ou retardar esse processo (CHAZDON et al. 2016, CHAZDON 2012).

As etapas de regeneração contínuas seguem uma trajetória em que os estágios apresentam um enriquecimento gradual de espécies e um aumento da complexidade estrutural, taxonômica, funcional e filogenética, com os fatores abióticos influenciando intensamente a reorganização das comunidades nos estágios iniciais, diferente dos estágios finais onde ocorre o contrário, sendo fatores bióticos determinantes para estabelecimento da comunidade (LEBRIJA-TEJOS et al. 2011).

Trazendo esses fatores para o contexto da Caatinga, estudos apontaram que esse ecossistema possui um alto índice de resiliência, com uma alta regeneração se comparado a florestas úmidas, isso, devido a características como árvores de baixa estatura, elevada capacidade de rebrota, presença de muitas sementes secas e pequenas (na maioria das plantas) com alto potencial de dispersão pelo vento (BUSBSY et al., 2010). Porém, características limitantes das FTSS, principalmente sazonalidade e disponibilidade de água, como também a imprecisão de chuvas, baixa produtividade e dependência da polinização por animais, limitam os processos ecológicos, contrapondo as ideias de ser um ecossistema resiliente (MAASS;BURGOS, 2011; LEAL et al., 2017).

A capacidade de regeneração de um habitat pode ser avaliada sob diferentes métricas e atributos que vão desde o desenvolvimento das comunidades de plantas e animais até o crescimento e produtividade da floresta, assim como, características físicas e químicas do solo, bem como a presença da microbiota, sendo que nenhum desses indicadores deve ser usado de maneira isolada, selecionando aquele que melhor atende os objetivos do estudo (AYALA-OROZCO et al., 2018). Acompanhar a propriedade do solo (física, química e biológica) mostra-se essencial para monitorar e avaliar a sustentabilidade das práticas

agrícolas e da dinâmica que ocorre no habitat após as perturbações, podendo indicar o melhor manejo e propor ações conservacionistas, além de contribuir com as bases de dados ecológicas (FIALHO et al., 2006).

O solo, componente primordial nas prestações de serviços ecossistêmicos tem ficado bastante ameaçado em decorrência dessas mudanças abruptas no uso da terra, principalmente pela conversão em sistemas agrícolas assim como o superpastoreio devido a criação de animais e, subsequentemente, a perda de matéria orgânica (KENNARD et al., 2002 ; LI et al., 2016). As ações de mudanças climáticas têm sido atreladas como uma das principais causa do declínio da biodiversidade do solo, alterando os grupos funcionais e as comunidades de microrganismos como um todo afetando negativamente a produtividade e serviços ambientais providos pelo mesmo e modificar os processos bottom-up (BARNES et al., 2017).

Nesse contexto, estudar as propriedades microbianas do solo ajuda a entender as consequências do impacto das ações antrópicas nas comunidades do ambiente e a tendência para qual a saúde do solo se encaminha. Os organismos do solo desempenham um papel fundamental na regeneração, pois estão envolvidos no processo de conversão de materiais e energia e são importantes para o funcionamento e equilíbrio dos ecossistemas, pois fornecem nutrientes para plantas e subsequentemente estabelecem outros organismos (DE VRIES et al., 2013, WAGG et al., 2018). A energia e os elementos contidos na matéria orgânica são reciclados e liberados, incorporando ao solo através da fragmentação pela fauna do solo e pela ação de enzimas microbianas. Enquanto a biomassa vegetal é um grande reservatório de C, N, P e S, a biomassa microbiana garante um fluxo contínuo de carbono e nutrientes, demonstrando com uma taxa de reciclagem até 200 vezes mais rápida que a biomassa vegetal (Moreira e Siqueira, 2006). Logo, compreende-se que as funções ecossistêmicas dependem não apenas de um organismo, mas da escala de serviços ecossistêmicos prestados por toda a biota que compõem a cadeia alimentar do solo (FERRIS; TUOMISTO, 2015).

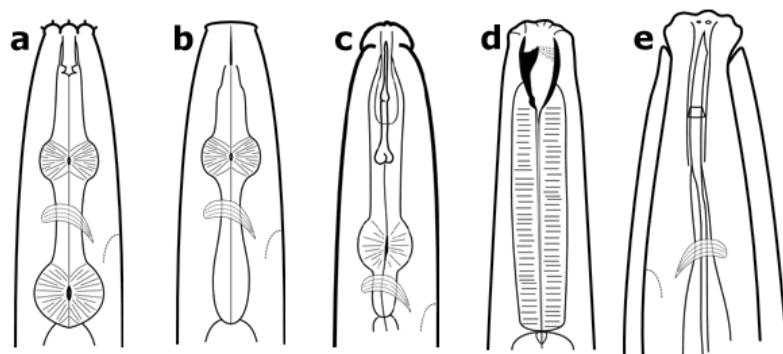
Dada a crescente aumento de áreas em processo de regeneração natural em ambientes semiáridos, há um grande interesse progressivo em compreender os constituintes microbianos do solo. No entanto, dado ao papel ecológico dos microrganismos, essa perspectiva ainda é pouco abordada no Brasil (PEDONE-BONFIM et al., 2018), e principalmente na Caatinga, que devido a essa sucessão secundária retrogressiva submetidas às atividades antrópicas, continua tendendo a perda de espécies e simplificação do habitat (TABARELLI., et al, 2017).

2.3 DIVERSIDADE DE NEMATOIDES E SEU POTENCIAL COMO BIOINDICADORES AMBIENTAIS

Os nematoides pertencentes ao Filo Nematoda são vermes cosmopolitas que possuem corpo cilíndrico com extremidades afiladas e que são classificados dentro da microbiota edáfica. Ocupando tanto o bioma marinho quanto o terrestre, podem estar presentes no solo e em ambientes dulcícolas e marinhos. Por esses motivos são tidos como os animais mais abundantes e diversificados do planeta. Esses indivíduos são classificados em relação a taxonomia de acordo com a morfologia do aparelho bucal, estilete, tipo de cutícula e ovários das fêmeas (Figura 1). Há cerca de 35 mil espécies já identificadas, e cerca de mais 1 milhão em potencial descobrimento (DE LEY; BLAXTER, 2004; COSTA NETO et al. 2016; CABRAL 1996). Em relação ao seu hábito alimentar, são classificados em nematoides de vida livre, fitoparasitas (parasitas de plantas) e zooparasitas, sendo este último de grande importância médica acarretando doenças no ser humano como ascaridíase e filariose por exemplo.

Os nematoides de vida livre por sua vez, também são categorizados de acordo com seu hábito alimentar em quatro grupos tróficos, são eles, bacteriofagos, fungívoros, onívoros e predadores (Figura 1), esses animais são capazes de obter alimento de origem animal e vegetal (através do parasitismo) ou através de microorganismos como fungos, bactérias, protozoários e até mesmo predação de outros invertebrados como rotíferos, tardígrados e anelídeos, e outros nematoides. Devido a essa plasticidade, atrelada, à alta capacidade de adaptação às variáveis ambientais de diversas latitudes onde há carbono orgânico, os nematoides são considerados excelentes bioindicadores de qualidade do solo (YEATES et al., 1993; BOAG; YEATES, 1998; HOOGEN et al., 2019).

Figura 1: Classificação dos hábitos alimentares dos nematoides de acordo com a morfologia do aparato bucal. (a) bacteriófago, (b) fungívoro, (c) parasita de planta (d) predador e (e) onívoro.



Fonte: UGARTE; ZABORSKI, 2020. Adaptado.

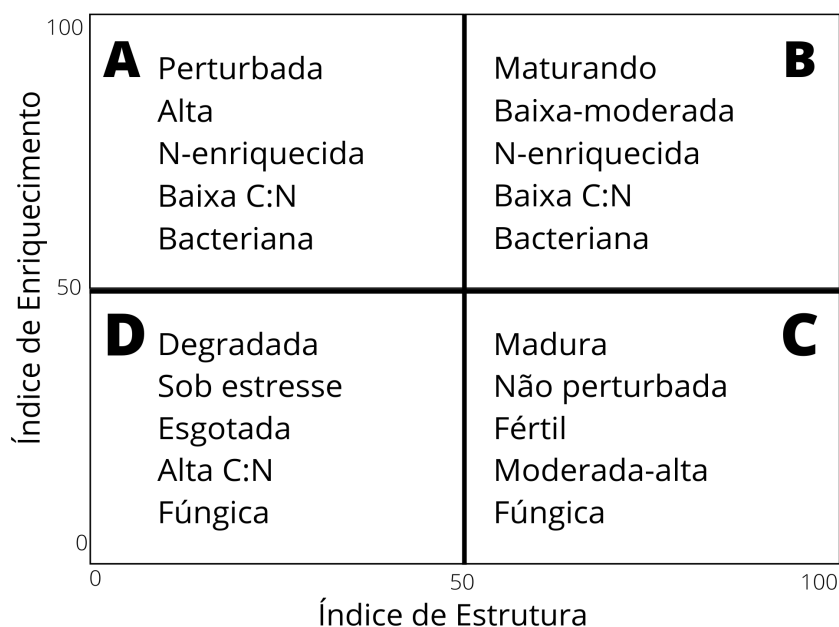
Esses grupos estão envolvidos nas principais dinâmicas do solo, como a decomposição de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, os bacteriofagos e fungívoros por exemplo, mostram-se peças chave na cadeia alimentar por potencializar esses processos, uma vez que, ao se alimentar das células bacterianas vivas ou micélio fúngico ativo renovam essas comunidades de bactérias e fungos e os transportam para outras rotas, intensificando a decomposição e a ciclagem de nutrientes. Outra característica desse grupo é o auxílio na mineralização, por consumirem recursos mais que o necessário, principalmente compostos nitrogenados na forma de proteína bacteriana, os excessos são excretados na forma de amônia, sendo de fácil mineralização e absorção, beneficiando as plantas (TRAP et al., 2016; FERRIS; VENETTE; LAU, 1997). Já os nematoides onívoros-predadores, participam do processo de ciclagem de nutrientes de forma indireta ao predarem outros microinvertebrados, além disso, regulam e modulam o crescimento das populações de bacteriofagos e fungívoros. Também contribuem no controle biológico de nematoides parasitas de plantas e outros organismos como protozoários, rotíferos e anelídeos (FERRIS; SÁNCHEZ-MORENO; BRENNAN, 2012; GOULART, 2009). Em relação aos fitoparasitas ou parasitas de planta eles possuem juntamente com os fungívoros um aparato alimentar similar, apresentando um estilete podendo ou não apresentar nódulos basais, útil na perfuração de células vegetais ou fúngicas, onde enzimas extracorpóreas são liberadas para degradar o conteúdo celular e serem ingeridas. Muitas vezes o desequilíbrio ambiental, como implementação da monocultura onde era uma vegetação natural, tornam esses grupos pragas agrícolas, ocasionando prejuízos imensuráveis nas grandes lavouras (UGARTE; ZABORSKI, 2020).

Elaborada por Bongers (1990) outra classificação, desses invertebrados está relacionada às estratégias de vida, neste sistema, os nematoides são atribuídos a uma escala de resistência à colonização (c-p) variando de 1 (c) a 5 (p). Segundo ele, os nematoides podem

ser colonizadores (c) ou persistentes (p), que correspondem a R-estrategistas e K-estrategistas respectivamente. Os colonizadores (c) põem muitos ovos pequenos, têm um ciclo de vida curto e exploram rapidamente o habitat rico em nutrientes, geralmente esses nematoides possuem valores de c-p 1 e 2 sendo considerados formadores de colônia e são resistentes a uma variedade de distúrbios que ocorrem no ambiente. Em contraste, os persistentes (p) produzem poucos ovos, têm um ciclo de vida longo, baixa taxa reprodutiva e raramente responde positivamente a condições com alta disponibilidade de nutrientes, são atribuídos a esses nematoides valores de c-p 4 e 5 são considerados altamente sensíveis a distúrbios ambientais. Os nematoides c-p de 3 possuem traços em comum entre os grupos 2 e 4 e são relativamente sensíveis a distúrbios (BONGERS; BONGERS, 1998; YEATES et al., 1993).

Através dessas categorias, Ferris (2010), elaborou índices que quantificam a pegada metabólica dos nematoides, possibilitando analisar a contribuição desses invertebrados na provisão de serviços ecossistêmicos e refletindo na saúde do solo. O metabolic footprint classifica a teia alimentar da nematofauna em três categorias, enriquecida (EI), estruturada (SI) e basal (BI), todas elas baseadas no uso do carbono orgânico utilizado na respiração e manutenção fisiológica dos nematoides. Uma cadeia alimentar enriquecida (EI) é caracterizada pela presença de indivíduos de c-p 1 onde há uma entrada significativa de recursos oriundo da mortalidade de outros organismos de origem vegetal ou animal ocasionado por distúrbios ambientais, as famílias Rhabditidae e Panagrolaimidae são as mais abundantes nessas áreas, já uma cadeia estruturada (SI) há indivíduos de c-p 3 à 5, predominando os onívoros-predadores que pertencem a níveis tróficos mais elevados, regulando a cadeia alimentar, geralmente essa característica está atrelada a ambientes em processos de recuperação, sendo dominante as famílias Dorylaimidae e Mononchidae. Por fim, a cadeia basal (BI) típica em ambientes sob estresse, onde a teia trófica foi reduzida devido a limitações nos recursos ocasionado por situações ambientais adversas como contaminação ou perturbação da vegetação, geralmente são encontrados nematoides que se adaptam rapidamente a essas condições como o grupo de c-p 2 sendo representado geralmente pelas famílias Cephalobidae (bacteriófagos) e Aphelenchidae (fungívoros) (FERRIS., 2010; GOULART., 2007). Outra métrica é o canal de decomposição (CI) que representa a via predominante de decomposição de matéria orgânica na cadeia alimentar do solo, participando apenas os bacteriófagos e fungívoros. Esses índices quando analisados juntos possibilitam uma interpretação completa do estado da teia trófica abaixo do solo através dos nematoides, onde é possível inferir o nível de degradação e saúde do solo (Figura 2).

Figura 2: Esquema de interpretação onde cada quadrante contém a informação a respeito da condição da cadeia do solo; nível de perturbação; enriquecimento; razão C:N e canal de decomposição respectivamente embasada na análise da cadeia alimentar baseada nas comunidades de nematoides.



Fonte: Ferris et al., 2001. Adaptado.

Outro bioindicador usado para quantificar o carbono utilizado pela nematofauna é a biomassa, que consiste na mensuração do maior comprimento e diâmetro corporal. Além de ser uma métrica fácil, mostra a alocação de carbono e o fluxo de energia no solo. Utilizado em seu crescimento corpóreo e postura de ovos, o carbono também é usado no processo de respiração. Estudos em larga escala elaborados por Hoogen et al (2019) constataram que a biomassa global dos nematoides é cerca de 0,3 gigatoneladas, chegando a representar 82% da biomassa humana na terra, outra constatação é que a quantidade de carbono respirada por esses organismos equivale a 15% das emissões oriundas da queima de combustíveis fósseis, em relação a emissão de CO₂ pelo solo para a atmosfera, os nematoides são responsáveis por 2,2% (HOOGEN et al, 2019). Isso mostra que mais estudos seriam necessários a respeito da fisiologia e contribuição dos nematoides na prestação de serviços ecossistêmicos.

Há crescentes estudos envolvendo os nematoides para caracterizar as áreas em processo de sucessão secundária, principalmente depois do aumento da tendência em recuperar áreas degradadas. Isso está atrelado aos fatos desse grupo ser numericamente importante na fauna do solo, sua ampla colonização em diferentes ambientes, e devido os gêneros de nematoides abrangerem diferentes estratégias de vida, o que caracteriza o estado dos solos em recuperação a longo prazo (RUESS; FERRIS, 2004). Estudos de regeneração

natural com nematoides podem também ajudar a refletir a maturidade da comunidade encontrada num determinado habitat e observar como se comportam com determinados tipos de perturbação, por exemplo Li et al (2015) verificou que as florestas no sudoeste da China que as comunidades de nematoides em áreas de regeneração após desmatamento, demoraram até 50 anos para atingir o clímax quando comparado a florestas nativas da mesma região. Já estudos envolvendo sucessão secundária em uma área de aterro sanitário abandonado constatou que as comunidades de nematoides através dos índices permaneciam basais e degradadas (STAMOU et al., 2020). Em outro trabalho da China, foi observar que em ecossistemas carste a sucessão progressiva da vegetação não favorece a abundância das comunidades de nematoides e diminuiu a complexidade da teia alimentar do nematoides, implicando em recomendações de manejo de nutrientes e utilização da pecuária (ZHAO et al., 2014). Fatores abióticos dos solos em florestas secundárias também devem ser levados em consideração ao analisar esses animais em ambientes de sucessão, em estudos de Da Silva et al (2020) as propriedades do solo com e a variabilidade climática da Caatinga alteram as funções ecossistêmicas dos nematoides onde houve uma tendência das comunidade retornarem a composição natural através das regeneração.

3 OBJETIVOS

Objetivo geral: Avaliar o efeito da regeneração natural da vegetação nativa da Caatinga sobre a estrutura de comunidade e funções ecossistêmicas fornecidas pelos nematoides, bem como o seu potencial de indicação da saúde do solo em áreas regeneradas.

Objetivos específicos:

Avaliar o efeito da regeneração natural da vegetação nativa da Caatinga sobre a estrutura de comunidade dos nematoides.

Avaliar o efeito da regeneração natural da vegetação nativa da Caatinga sobre a atividade metabólica (*proxy* das funções ecossistêmicas) dos diferentes grupos tróficos dos nematoides.

Avaliar o efeito da regeneração natural da vegetação nativa da Caatinga sobre a condição da cadeia alimentar e saúde do solo

4 METODOLOGIA

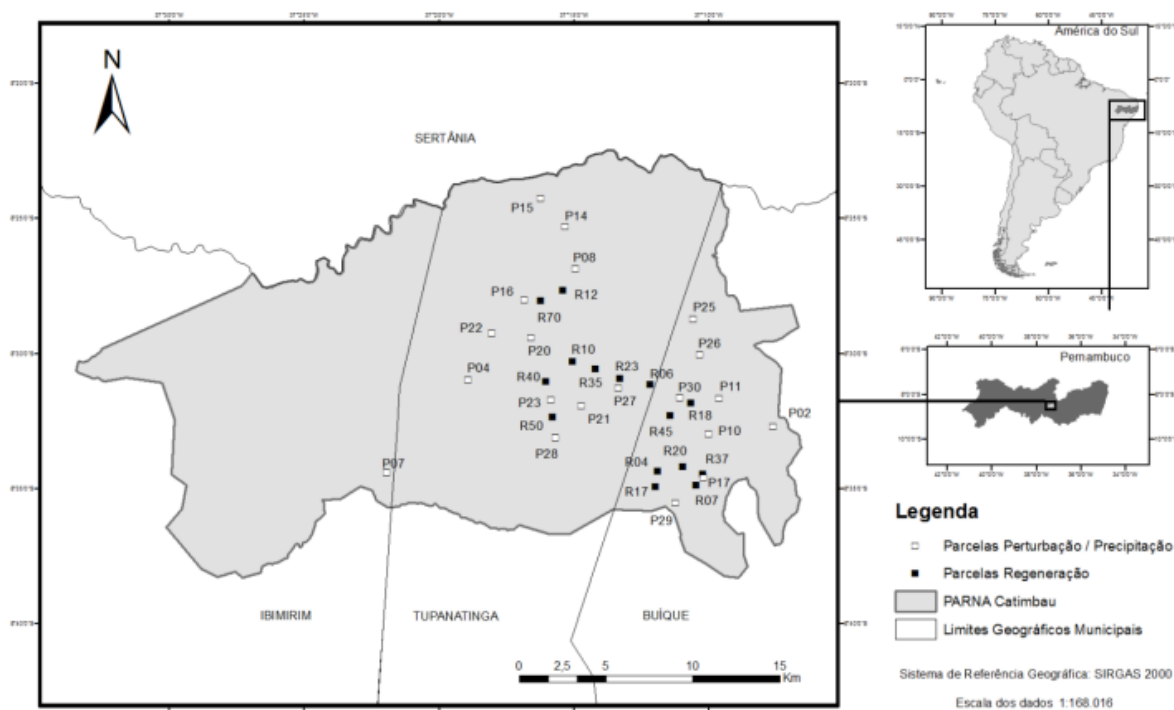
4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no Parque Nacional Catimbau ($8^{\circ} 24'00''$ e $8^{\circ} 36'35''$ S; $37^{\circ} 0'30''$ e $37^{\circ} 1'40''$ W, estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil) (Figura 3), que cobre uma área de 607 km² de vegetação da Caatinga (Rito et al., 2017). Com 60.000 hectares o PARNA Catimbau situa-se no mosaico de florestas tropicais sazonalmente secas, abrangendo as cidades de Buíque, Tupanatinga e Ibimirim. Apresenta uma vegetação hiperxerófila e subcaducifólia típica do domínio Caatinga, embora também ocorram gramíneas, cactáceas, áreas de cultivo e uma grande diversidade de espécies animais e de fitofisionomia (Siqueira, 2006). As famílias predominantes das plantas lenhosas são Fabaceae, Euphorbiaceae e Myrtaceae; na superfície do solo da floresta, predominam espécies de Cactaceae, Bromeliaceae, Malvaceae, Asteraceae e Fabaceae (Rito et al., 2017).

A temperatura média anual do parque varia de 21 °C a 24 °C e média anual de variação de 1100 mm no Sudeste a 480 mm no Noroeste (Rito et al., 2017). O relevo também apresenta uma alta variação, com altitudes de 700 m a 1100 m (Siqueira, 2006). Aproximadamente 70% do Parque Nacional Catimbau é coberto por solos arenosos de quartzo que suportam vegetação caatinga de baixa estatura (Rito et al., 2017), mas também estão presentes os planossolos (15%) e litossolos (15%) (Sociedade Nordestina de Ecologia, 2002).

O PARNA Catimbau foi criado em 2002 através do decreto federal pela lei SNUC (Lei Federal Nº 9.985). Porém, devido a políticas públicas não efetivas ainda não foi possível sua regularização fundiária, com isso ainda há a presença de áreas residenciais bem como, pequenos comércios e uso da terra para agricultura familiar e de subsistência. Como consequência o parque detém de diferentes fitofisionomias formado por áreas de cultivo, florestas maduras, florestas secundárias com diferentes idades de regeneração e áreas de pastoreio de caprinos (FREIRE et al, 2015; TABARELLI 2012).

Figura 3: Mapa da localização do Parque Nacional do Catimbau (PARNA-Catimbau) apresentando as parcelas de diferente idade de regeneração analisadas pelo Projeto ecológico de longa duração-Catimbau (PELD-Catimbau).



Autor: David José dos Santos (2019)

4.2 COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO E EXTRAÇÃO DOS NEMATOIDES

Foram selecionadas um total de quatro parcelas (cada 20 x 50 m): três com vegetação em processo de regeneração natural após o abandono da atividade agrícola (4 – 45 anos de abandono) e 1 (uma) área de floresta madura (sem histórico de atividade agrícola). As parcelas foram caracterizadas em estágio inicial (4 anos), estágio intermediário (17 anos), estágio avançado de regeneração (45 anos) e floresta madura (sem histórico de agricultura).

A coleta das amostras foi realizada em novembro de 2015, em cada parcela foram coletadas três amostras (réplicas) compostas por 5 subamostras de solo (alíquota de 1.000 cm³) de forma equidistante, com o auxílio de um coletor cilíndrico, em uma profundidade de 0-30 cm. As amostras foram retiradas em pontos próximos a áreas arbustivas, na linha de projeção da copa, onde as raízes mais jovens e ativas podem ser encontradas. Esta zona é conhecida por incluir uma maior densidade de micro-organismos em relação à profundidade. Em seguida, cada amostra foi acondicionada em caixa isotérmica, devidamente etiquetada, para transporte ao laboratório em um prazo de até 48 horas (CARES; HUANG, 2008).

Os nematoides foram extraídos de 300 cm³ de solo por meio da técnica de flutuação-sedimentação-peneiramento (FLEGG; HOOPER, 1970) combinado ao de flotação centrífuga com adição de sacarose (JENKINS, 1964) para recuperar uma maior diversidade

de nematoides. Depois, os nematoides de cada amostra foram fixados em formaldeído (3%) e infiltrados com glicerina (SEINHORST, 1959). Em seguida, foi contado o número total de espécimes de nematoides em cada amostra. Posteriormente, 100 espécimes foram selecionados, aleatoriamente, de cada amostra para a montagem de lâminas permanentes.

4.3 ANÁLISE DA ESTRUTURA DE COMUNIDADE DE NEMATÓIDES, ATIVIDADE METABÓLICA DOS DIFERENTES GRUPOS TRÓFICOS E CONDIÇÃO DA CADEIA ALIMENTAR DOS NEMATOIDES

Após verificar a abundância total, os nematoides foram identificados a nível de família, utilizando microscopia óptica e com auxílio de material bibliográfico adequado. O hábito alimentar dos 100 espécimes de nematoides de cada amostra foram categorizados em bacteriófagos, fungívoros, parasitas de plantas e onívoro-predadores através da morfologia da região anterior do sistema digestivo (cavidade bucal e esôfago) (YEATES et al., 1993).

Para avaliar a atividade metabólica, usando como proxy a biomassa de carbono, foi calculado primeiro o peso fresco do nematoide que consiste no comprimento do corpo (L) e a maior largura do corpo (D) dos 100 espécimes. Cada amostra foi mensurada com o auxílio da plataforma de *software Leica Application Suite*, que consiste em um microscópio automatizado acoplado a uma câmera digital, onde as imagens já são mensuradas em micrômetro (μm). A fórmula utilizada para o cálculo do peso fresco (B) de cada espécime foi (Andrássy, 1956):

$$B = (D^2 \times L) \times (1.6 \times 10^6)^{-1}$$

Em seguida foi calculada o peso seco do nematoide onde assumimos que esse valor corresponde à cerca de 20% do peso fresco, e o carbono (C) assimilado no seu metabolismo corresponde a 52% do peso seco, sendo calculado como $52 \% \times 20 \% \text{ Wt}/100$, onde Wt é o peso fresco do corpo (FERRIS, 2010). A partir desses dados, foi possível calcular a biomassa de carbono total (μg).

Para avaliar a condição da cadeia alimentar em cada estágio de regeneração (inicial, médio e avançado) e floresta natural, o Índice de Enriquecimento (EI) e o Índice de Estrutura (SI) proposto por Ferris et al. (2001) foram utilizados. Estes dois índices são calculados independentemente da abundância ponderada de guildas de nematoides. As guildas de nematoides compreendem bacteriófagos (Bax), fungívoros (Fux), predadores (Prx) e omnívoros (Omx) variando ao longo da escala de c-p de $x = 1$ a $x = 5$. Os parasitas de

plantas são excluídos deste índice, uma vez que reagem de forma diferente à adição de nutrientes (BONGERS;BONGERS, 1998).

A abundância relativa destas guildas reflete certas condições do solo e características da cadeia alimentar do solo, tais como nível de enriquecimento, perturbação e complexidade da teia alimentar. O EI fornece informações sobre o status do recurso do ecossistema investigado e é calculado como: $EI = 100 \times (e / (e + b))$, com “e” representando o componente de enriquecimento, calculado como as frequências ponderadas dos nematoides Ba1 e Fu2 e “b” representando o componente basal da cadeia alimentar, calculado como as frequências ponderadas dos nematoides Ba2 e Fu2 (FERRIS et al. 2001). O SI combina guildas funcionais de nematoides de valores mais altos de c-p variando de 3–5. Os nematoides dentro dessas guildas representam condições mais estáveis, por exemplo, recuperando-se do estresse e maior conectividade da rede alimentar, ou seja, um alto grau de conectância através de muitas interações e, portanto, resiliência funcional a perturbações (Ferris et al. 2001). Altos valores de SI indicam um ecossistema estruturado com muitos elos tróficos, enquanto valores baixos significam sistemas simplificados e perturbados. Este índice é calculado como: $SI = 100 \times (s / (s + b))$, com s representando o componente de estrutura da cadeia alimentar calculada como as frequências ponderadas de Ba3 – Ba5, Fu3 – Fu5, Pr3 – Pr5 e Om3 – Om5.

4.4 ANÁLISE DE DADOS

Para verificar se a abundância e biomassa de carbono total dos nematoides e de cada grupo trófico diferiam significativamente entre os diferentes estágios de regeneração natural da vegetação de Caatinga (inicial, médio e final) e floresta madura uma ANOVA *one-way* seguida do teste de Tukey a 5% de probabilidade (significância de 0,05) foi realizada no R. Os dados foram testados quanto a normalidade e homogeneidade como pressupostos.

Em nosso estudo, também analisamos a diversidade das áreas em processo de regeneração natural da vegetação Caatinga e floresta madura. Foram utilizados os índices de Shannon (H') e Simpson (D') para verificar quais áreas apresentavam uma maior diversidade e dominância de espécies respectivamente, seguido da Equitabilidade de Pielou (J') para verificar a uniformidade da comunidade de nematoides nas áreas em processo de regeneração e floresta madura.

5 RESULTADOS

5.1 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE REGENERAÇÃO NATURAL DA CAATINGA SOBRE A ESTRUTURA DA COMUNIDADE DE NEMATOIDES

Foram identificadas um total de 1.033 nematoides distribuídos em 13 famílias (Tabela 1). Na área controle (floresta madura) e na regeneração média foram encontradas 10 famílias, seguidas da regeneração inicial com 6 famílias e regeneração final com 5 (Tabela 1)

As famílias Cephalobidae, Aphilenchidae e Dorylaimidae foram presentes em todas as áreas, sendo a família Cephalobidae, pertencente ao grupo dos bacteriófagos, predominante ao longo das áreas em regeneração. Já na floresta madura, a família Hoplolaimidae, grupo de parasitas de planta, foi superior às demais famílias.

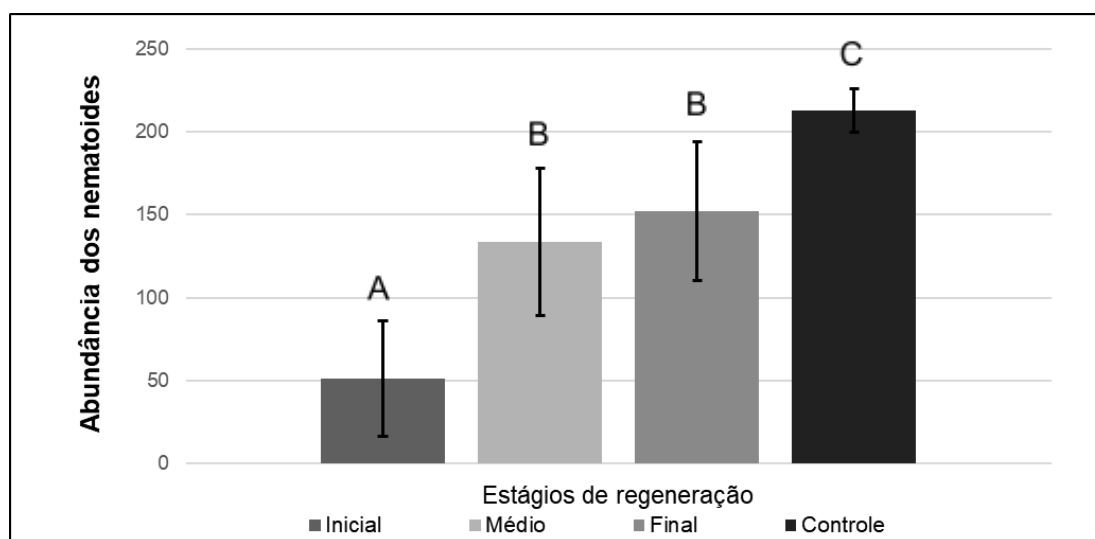
Tabela 1. Abundância relativa (%) de cada família de nematoides nos estágios de regeneração inicial, média e final, e área de floresta madura na Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco.

Família	Grupo Trófico	Áreas de regeneração			Floresta madura
		Inicial	Média	Final	Controle
Cephalobidae	Bacteriófagos	69,93	80,60	93,04	24,83
Rhabditidae		1,31	1,34	0,00	0,00
Aphelenchidae	Fungívoros	19,61	5,97	1,83	3,78
Aphelenchoididae		1,31	0,00	0,00	0,00
Paraphelenchidae		1,96	0,37	0,00	0,00
Dorylaimidae	Onívoro-predadores	5,88	5,25	3,48	1,35
Nygolaimidae		0,00	0,00	0,00	0,34
Anatonchidae		0,00	0,37	0,00	0,31
Mononchidae		0,00	0,19	1,21	1,66
Criconematidae	Parasitas de planta	0,00	3,65	0,00	4,75
Pratylenchidae		0,00	0,00	0,00	0,98
Hoplolaimidae		0,00	1,87	0,00	58,98
Longidoridae		0,00	0,37	0,44	3,02

Fonte: O autor (2022)

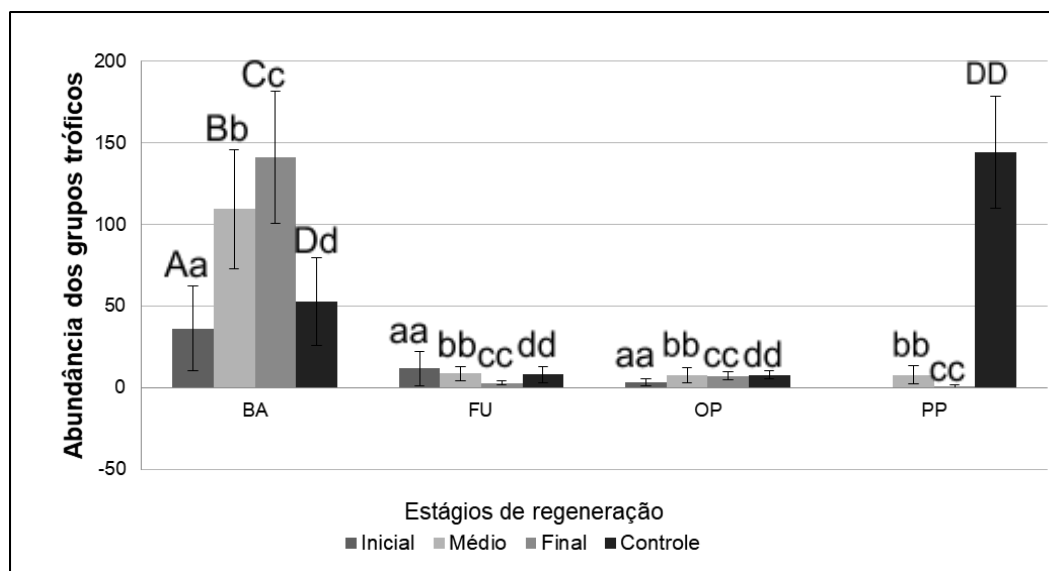
A abundância total de nematoides diferiu entre os três estágios de regeneração e área controle. Dentre as diferentes áreas, o estágio inicial e a área controle tiveram a menor e maior abundância de nematoides, respectivamente ($P < 0,05$; Figura 4). Referente a composição dos grupos tróficos em todos os tratamentos, os bacteriófagos (BA) foram predominantes (61,91%), seguidos dos parasitas de planta (PP) (27,77%), fungívoros (FU) (5,63%) e onívoros-predadores (OP) (4,67%). Apenas a abundância total dos bacteriófagos e dos parasitas de plantas diferiram entre as áreas $P < 0,05$; Figura 5). Os bacteriófagos foram mais abundantes no estágio final de regeneração (93,04%), seguido do estágio médio (81,94%), área controle (24,82%) e estágio inicial (71,27%) ($P < 0,05$; Figura 5). Já os parasitas de plantas, foram mais abundantes na floresta madura (67,73%) do que nas demais áreas ($P < 0,05$; Figura 5).

Figura 4. Abundância total ($\pm$ desvio padrão) de nematoides (espécimes/300 cm³ solo) nos estágios inicial, médio, final de regeneração natural da vegetação e área controle na Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco. Letras diferentes representam médias, estatisticamente, diferentes entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: O autor (2022)

Figura 5. Abundância média ($\pm$ desvio padrão) de cada grupo trófico de nematoides (espécimes/300 cm³ de solo) nos estágios inicial, médio, final de regeneração natural da vegetação e área controle na Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco. BA: bacteriófagos; FU: fungívoros; OP: onívoro-predadores; PP: parasitas de plantas. Letras diferentes são estatisticamente significantes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letra maiúscula indicam diferenças significativas no mesmo tratamento dentre os diferentes grupos tróficos.



Fonte: O autor (2022)

Sobre os índices de diversidade, através do Shannon é possível observar que o nível de entropia da comunidade de nematoides diminuiu ao longo das áreas de regeneração, já a área controle mostrou-se com entropia mais alta, constatando ser mais diversa que as demais áreas de estudo (Tabela 2). A dominância de Simpson evidenciou ser mais alta na regeneração final, onde os bacteriofagos da família Cephalobidae foram os mais abundantes e dominantes (Tabela 2). Já a equitabilidade de Pielou foi maior na área controle do que nas demais áreas de regeneração, mostrando que a comunidade de nematoides na floresta madura é mais uniforme do que as comunidades nas áreas de regeneração (Tabela 2).

Tabela 2. Índices de diversidade de nematoides nos estágios de regeneração inicial, média e final, e área de floresta madura na Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco.

Áreas	Índices de diversidade			
	ShannonH_log2	Simpson_1-D	Dominância_D	Equitabilidade_J
Regeneração inicial	0.92669	0.46828	0,53172	0.51720
Regeneração média	0.84715	0.34861	0,65139	0.36791

Regeneração final	0.34431	0.13711	0,86289	0.21393
Controle	1.23023	0.58240	0,4176	0.53428

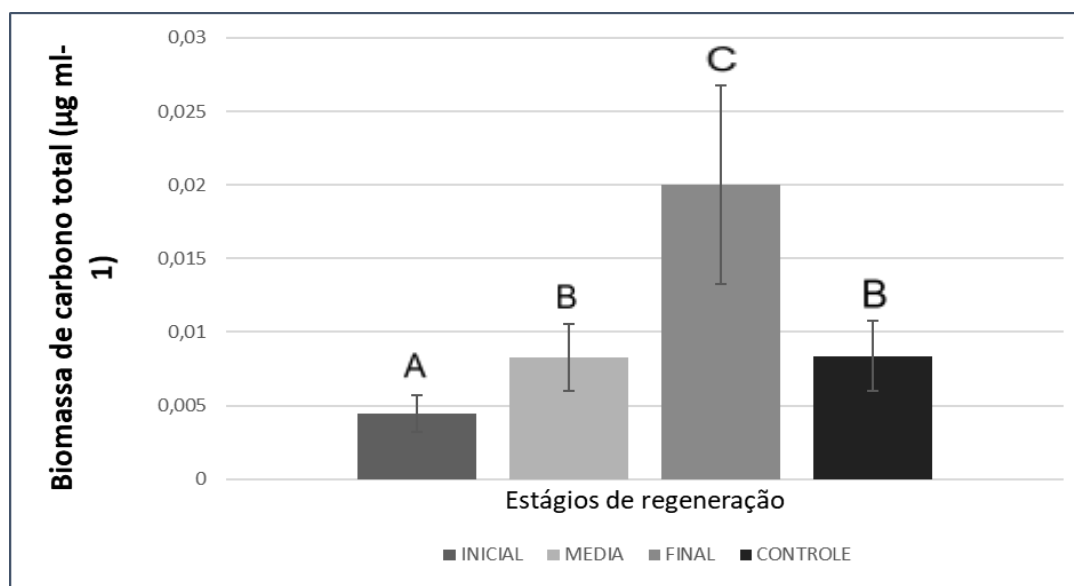
Fonte: O autor (2022)

5.2 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE REGENERAÇÃO NATURAL DA CAATINGA SOBRE A BIOMASSA DE CARBONO DOS GRUPOS TRÓFICOS DOS NEMATÓIDES

A atividade metabólica (aqui utilizada como *proxy* das funções ecossistêmicas dos nematoides) nas áreas em regeneração (inicial, média, final) e floresta madura (controle), a biomassa de C total da área de regeneração inicial e final diferiram significativamente ($P < 0,05$), sendo menor e maior respectivamente, as demais áreas de estudo (Figura 6).

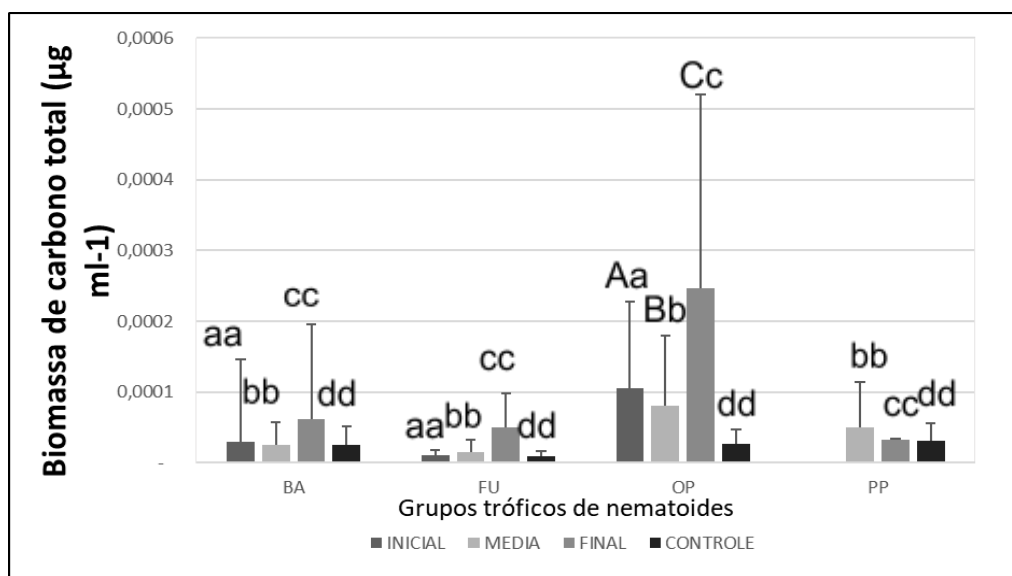
Concernente a biomassa de C dos grupos tróficos, os bacteriófagos (BA), fungívoros (FU) e os parasitas de plantas (PP) que não diferiram entre as áreas ($P > 0,05$; Figura 7). Os onívoros-predadores (OP) foram maiores em todos os tratamentos em relação aos outros grupos, sobressaindo-se na regeneração final ($P < 0,05$). Já a floresta madura (controle) não apresentou diferença significativa entre as áreas entre os grupos ($P > 0,05$).

Figura 6: Biomassa de carbono média ($\pm$ desvio padrão) de nematoides (espécimes/300 cm³ solo) nos estágios inicial, médio, final de regeneração natural da vegetação e área controle na Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco. Letras diferentes são estatisticamente significantes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: O autor (2022)

Figura 7: Biomassa média de carbono (+ desvio padrão) dos nematoides e de cada grupo trófico nos estágios inicial, médio, final de regeneração natural da vegetação e floresta madura (controle) na Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco. BA: bacteriófagos; FU: fungívoros; OP: onívoro-predadores; PP: parasitas de plantas. Letras diferentes são estatisticamente significantes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letra maiúscula indicam diferenças significativas no mesmo tratamento dentre os diferentes grupos tróficos.



Fonte: O autor (2022)

5.3 AVALIAÇÃO DA CADEIA ALIMENTAR DO SOLO ATRAVÉS DOS ÍNDICES DOS NEMATOIDES

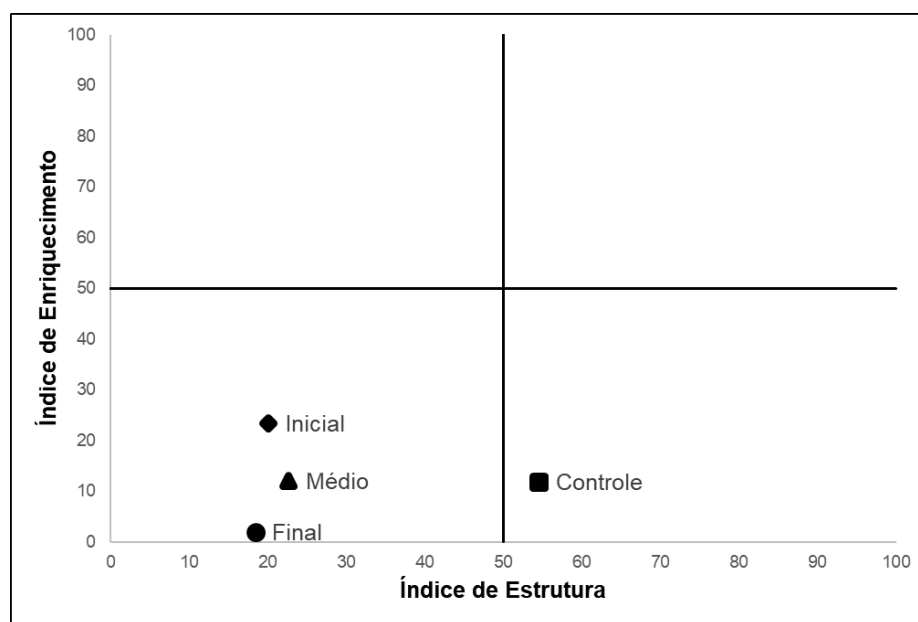
A aplicação dos índices dos nematoides evidenciou um distanciamento das áreas em regeneração em relação à floresta madura (controle) (Tabela 3). As áreas em processo de regeneração (inicial, média e final) foram localizadas no quadrante “D” e a área de floresta madura (controle) foi alocada no quadrante “C” (Figura 8). Em relação aos demais índices, o índice basal difere da área controle em relação às demais áreas, aumentando ao longo da regeneração ($P < 0,05$). Já o canal de decomposição apresenta uma máxima nas áreas de regeneração final e área controle (floresta madura), diferindo das demais ($P < 0,05$).

Tabela 3: Índices dos nematoides para cadeia alimentar do solo. Índice de enriquecimento (EI), índice de estrutura (SI), índice basal (BI) e índice do canal de decomposição (CI) na área controle (floresta madura) e nas áreas em processo de regeneração (inicial, média, final), na Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, PE.

Índices dos nematoides	Áreas de regeneração			Floresta madura
	Inicial	Média	Final	Controle
Índice de Enriquecimento (EI)	23,24	11,87	1,89	11,68
Índice de Estrutura (SI)	20,22	22,75	18,48	54,50
Índice Basal (BI)	64,25	69,97	80,26	42,91
Índice de Canal (CI)	81,40	54,16	100,00	100,00

Fonte: O autor (2022)

Figura 8. Índice de enriquecimento (EI) e índice de estrutura (SI) dos estágios inicial, médio, final de regeneração e floresta madura (controle) do Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco.



Fonte: O autor (2022)

6 DISCUSSÃO

6.1 EFEITO DO PROCESSO DE REGENERAÇÃO NATURAL DA FLORESTA SOBRE A ESTRUTURA DA COMUNIDADE DE NEMATÓIDES

Como esperado, nossos resultados evidenciaram que a abundância total dos nematoides teve um crescimento ao longo dos estágios de regeneração após o abandono da atividade agrícola apresentando maior abundância no estágio final de regeneração (1). Contudo, a riqueza das famílias de nematoides foram maiores no estágio médio e não no final.

Estudos têm mostrado que a composição e a diversidade da comunidade de nematoides variam com a idade da floresta assim como o nível de cobertura do solo (DICKIE et al., 2011). Nossos resultados corroboram com os Wang et al (2021), onde a comunidade de nematoide do solo demonstrou respostas ativas à restauração florestal, bem como Zhang et al (2015) que observaram uma tendência de crescimento na abundância dos nematóides ao longo dos anos de regeneração, e uma maior riqueza taxonômica em florestas de regeneração com idades intermediárias. O aumento do tempo da sucessão secundária mostrou-se positivo quanto ao aumento da heterogeneidade das comunidades de nematóides (KARDOL et al., 2009; WALL; SKENE; NEILSON, 2002). Os nematóides mostraram-se uma recuperação considerada rápida. Já as assembleia de plantas lenhosas da Caatinga e besouros do esterco também obtiveram uma rápida resiliência ao longo das áreas em processo de regeneração (BARROS et al., 2021; FILGUEIRAS et al., 2021), porém em termos de trajetória sucessional ambos os grupos não seguiam um modelo baseado em mudanças direcionais, não havendo mudanças na composição taxonômica, diferente das comunidade de nematóides onde foi possível observar substituição dos grupos taxonômicos ao longo da regeneração.

As interações entre plantas e organismos do solo podem diferir, durante a sucessão florestal, isso porque a diversidade, espécies dominantes de plantas e identidade das árvores bem como a composição física e química do solo é modificada (HANEL, 2010; CESARZ et al., 2013). Os controles *bottom-up* mediados pela vegetação contribuem para uma grande modulação das comunidades de nematoides do solo (DE DEYN et al., 2004), essa reestruturação vegetacional possibilita a fauna do nematoides tempo para se desenvolverem em direção a uma “comunidade clímax” típica daquele tipo de vegetação (BONGERS E BONGERS, 1998). O nível de cobertura florestal também é um fator preditivo para os estabelecimento das comunidades de nematóides do solo, uma vez que, em áreas mais abertas típicas de regiões onde há início da sucessão secundária, há uma menor taxa de umidade do solo ocasionada pela baixa cobertura vegetal, o que possibilita uma maior exposição do solo a

radiação solar, afetando a quantidade de água presente nos microhabitats que são essenciais para os processos metabólicos dos nematóides (BAKONYI et al., 2007; NISA et al., 2021). Além disso, nas FTSS a assimilação dos macronutrientes C, N e P também é afetada pela sazonalidade, em época chuvosa o N e P são mais mineralizados se tornando de fácil absorção para planta e durante a estação seca há um maior acúmulo de C (ANAYA et al., 2007; AUSTIN et al., 2004; BEJARANO et al., 2014). A disponibilidade de matéria orgânica também afeta os nematoides (EKSCHMITT et al., 2001). Os drivers biomassa vegetal e estoque de serrapilheira em áreas de sucessão secundária na Caatinga possuem alta variação o que implica nos diferentes valores de macronutrientes afetando a dinâmica energética entre o solo e a vegetação (SOUZA et al., 2019; SANTOS, 2019).

Referente a estrutura trófica, Bongers e Bongers (1998) ainda afirmam que essa é uma classificação funcional que contribui para a compreensão de como cada grupo trófico afeta a transferência de matéria ou energia no ecossistema. Em relação à abundância, apenas os bacteriófagos e parasitas de plantas diferiram significativamente onde apresentaram elevada abundância na regeneração final e floresta madura, respectivamente. Tal fato corrobora com estudos que indicam que são grupos que atingem seu pico de crescimento em áreas onde há amplas fontes de alimento e maior desenvolvimento radicular (KEITH et al. 2009; WANG et al., 2021). O abandono agrícola seguido da regeneração natural, proporcionou aos bacteriófagos da família Cephalobidae, um aumento significativo em abundância, tal fato está atrelado a sua classificação quanto ao seu modo de vida sendo descrita como r-estrategistas (c-p2), sendo capazes de sobreviver a condições adversas como a retirada e alterações na heterogeneidade da vegetação. Além disso, são indicadores sensíveis à processos do solo relacionados com a disponibilidade de matéria orgânica, a atividade dos microrganismos do solo e ao clima (ZHANG et al., 2015), isso porque é um grupo caracterizado pela alimentação bacteriana oriunda da decomposição de matéria orgânica. Contudo, os bacteriófagos foram mais abundantes na fase final de regeneração e não na área de floresta madura. Nessas áreas, onde a vegetação está mais estabelecida, a diversidade e biomassa vegetal é maior, o acúmulo de matéria orgânica em decomposição na camada superficial do solo é superior (TOMAZINI et al., 2008) ocasionando uma alta proliferação desse grupo em relação aos demais. Diferente dos bacteriófagos, os parasitas de planta atingiram uma maior abundância na floresta madura, acredita-se que por estarem diretamente ligados ao desenvolvimento e estabelecimento das plantas, isso contribui para o amadurecimento desse grupo em áreas cuja vegetação já esteja estabelecida totalmente onde há acúmulo de biomassa vegetal, tal fato pode ser observado pela alta abundância da família Hoplolaimidae (Tabela 1) onde é descrita como endoparasitas

ativos de raízes (YEATES et al., 1993), mostrando-se ser um excelente bioindicador de áreas com vegetação madura. Assim como os bacteriófagos, os fungívoros também são os primeiros a responder à retirada da vegetação nativa (ZHAO et al., 2011), apesar disso esse grupo não apresentou diferença significativa, a quantidade de recurso limitantes provavelmente está ligada a essa estabilidade nas áreas em processo de regeneração. Já o baixo número de famílias de nematoides onívoros-predadores na regeneração inicial (Tabela 1) pode ser explicada por que esse grupo pode ser descrito como nematoides de topo da cadeia alimentar sendo bioindicadores de estresse do solo, logo sua ausência está atrelada ao nível de perturbação nessa área (BONGERS, 1999)

Ao analisarmos a diversidade através dos índices aplicados às comunidades de nematoides nas áreas de estudo, observamos que através do índice de Shannon (H') a floresta madura apresentou uma maior diversidade na comunidade de nematoides assim como mostrou-se ser mais uniforme de acordo com a equitabilidade de Pielou (J'), porém o que nos surpreendeu foi a semelhança dos valores da floresta madura com a regeneração inicial, isso devido a ocorrência de espécies tidas como raras em ambas a área, a família de fungívoros Aphilenchoididae por exemplo foi encontrada apenas na regeneração inicial, e a família de onívoros-predadores Nygolaimidae foi encontrada apenas na área de floresta madura. Além disso, a utilização da classificação a nível de família pode ter ocasionado a semelhança. Em relação à dominância (D') observamos que a regeneração final foi superior às demais áreas incluindo a floresta madura, tal fato corrobora com os dados visto acima onde a família cephalovidae, grupo de bacteriofagos foi dominante nessa área em relação às demais.

6.2 EFEITO DO PROCESSO DE REGENERAÇÃO NATURAL DA FLORESTA SOBRE A ATIVIDADE METABÓLICA DOS NEMATOIDES

No estudo, foram inseridos dados referentes à atividade metabólica dos nematoides (aqui representado pela biomassa de carbono). Tal métrica é de suma importância, pois fornece informações sobre fluxo de C e energia na cadeia alimentar do solo através de seus respectivos canais tróficos (FERRIS, 2010). Diferente dos dados da abundância, a biomassa de C total dos nematoides, bacteriófagos, fungívoros e dos onívoros-predadores, foram maiores no estágio final de regeneração e menores nas demais fases de regeneração.

A maior biomassa de C dos nematoides na regeneração final está atrelada ao aumento da atividade metabólica dos onívoros-predadores, isso por sua vez, pode estar relacionado a intensificação da predação top-down dos nematoides nessa área em relação às demais, incluindo floresta madura. Ou seja, o ‘boom’ populacional dos nematoides bacteriófagos na

regeneração final, impulsionou o aumento da atividade metabólica dos onívoros-predadores, visto que, esse grupo é descrito como reguladores das comunidade de outros organismos incluindo os nematoides que se alimentam de fungos e bactérias, isso faz com que esse grupo contribua de maneira indireta na ciclagem de nutrientes e alteração no nível de carbono no solo (ZHANG, 2015; FERRIS; SÁNCHEZ-MORENO; BRENNAN, 2012). A disponibilidade de bactérias em áreas de sucessão secundária também é um fator chave a ser mensurado, visto que abundância desses organismos podem mediar a disponibilidade dos bacteriófagos. estudos recentes envolvendo bactérias em diferentes idades de sucessão do solo em áreas abandonadas que passaram por perturbações, mostraram que a população bacteriana diferiu entre estágios de sucessão, aumentando com o passar do tempo (LIANG., et al 2021; SUN., et al 2015), isso por sua vez pode ter ocasionado também o aumento dos bacteriófagos ao longo das áreas em processo de regeneração e consequentemente afetar a biomassa de C das comunidade de bacteriófagos.

Estudos de Da Silva, et al (2021) envolvendo florestas secundárias e comunidades de nematoides no PARNA Catimbau também obtiveram resultados similares em relação a biomassa de C dos grupos tróficos bacteriófagos e onívoros-predadores e o fluxo de C na teia alimentar do solo, onde foi constatado que o abandono agrícola seguido da regeneração natural da vegetação aumentou a disponibilidade de carbono nessas áreas devido a uma maior heterogeneidade vegetacional, sugerindo que a regeneração natural pode recuperar as funções ecossistêmicas da teia trófica dos nematoides de solo com qualidade próxima às da floresta madura.

6.3 EFEITO DA REGENERAÇÃO NATURAL DA CAATINGA NA SAÚDE DO SOLO ATRAVÉS DOS ÍNDICES DOS NEMATOIDES

Em relação a aplicação dos índices dos nematoides, o alto índice de enriquecimento na regeneração inicial mostra o aumento da entrada de recursos (possivelmente oriundos da decomposição bacteriana). Nesta etapa, o aumento da produtividade e da atividade metabólica da presa são suficientes para atender às necessidades dos onívoros-predadores (os indicadores de estrutura) e para manter o equilíbrio metabólico do sistema (FERRIS, 2010). Isso mostra a correlação dos níveis de biomassa de C dos bacteriofagos e fungívoros em relação à biomassa de C dos onívoros-predadores.

Apesar de não haver alteração na biomassa de C fúngica ou bacteriana, a análise do canal de energia demonstrou que bacteriofagos e fungívoros desempenham papéis importantes nos canais de energia entre microrganismos e os nematoides, a energia do solo

mostrou uma mudança para longe dos canais de energia fúngica e para canais de energia cada vez mais bacterianos (DICKIE et al., 2011; ZHANG et al., 2015). No entanto, a relação dos onívoros-predadores no fluxo de carbono era mais forte do que entre outros grupos tróficos.

Por fim, verificamos que a condição da cadeia alimentar do solo entre os estágios de regeneração não diferiu. As áreas de estágio inicial, médio e avançado continham uma abundância alta de nematoides das famílias Cephalobidae que são consideradas como “nemátodos da condição basal”. Todas as áreas de regeneração são exibidas no quadrante D do perfil da fauna (Figura 8). Isso indica um alto nível de estresse e degradação e uma estrutura fraca da rede alimentar do solo (FERRIS et al., 2001). Porém, essas áreas apresentaram uma alta relação C/N e o canal de decomposição denominados como fungívoros.

Contudo, o contrário foi observado na área de floresta madura, onde já observamos representantes dos Mononchidae, uma família de nematoides descrita como indicativa de alto nível de estrutura e estabilidade da cadeia alimentar e interações entre diferentes níveis tróficos (FERRIS et al., 2001)

7 CONCLUSÃO

Neste estudo, podemos verificar que a regeneração natural da vegetação da Caatinga, frente ao abandono da atividade com alto distúrbio antrópico, tem afetado a estrutura da comunidade de nematoides, como também as funções ecossistêmicas desempenhadas por cada grupo funcional. A diversidade de nematóides mostrou uma rápida recuperação do distúrbio antrópico, diferente das funções ecossistêmicas providas pelos grupos, que mostraram uma recuperação mais lenta. Além disso constatamos que cada estágio de regeneração ficou bastante caracterizado, logo, evidenciamos de uma maneira geral, que os nematoides podem ser usados como excelentes bioindicadores da qualidade do solo frente a regeneração da vegetação natural da Caatinga, sendo possível também a utilização dos nematoides na avaliação da condição da cadeia alimentar do solo. Vale ressaltar que mesmo os índices dos nematoides não diferindo estatisticamente as áreas de regeneração natural, os mesmos, apresentaram diferentes padrões, o que reflete uma diferença entre as áreas. Por outro lado, a estrutura trófica baseada nos grupos e índices da cadeia alimentar não foram capazes de diferenciar as áreas de regeneração, mostrando um padrão distinto entre elas e a floresta madura da Caatinga.

Também verificamos que a família de bacteriófago generalistas Cephelobidae foram importantes para a comunidade de nematoides ao longo de todas as etapas de regeneração, estruturando a comunidade e contribuindo para a heterogeneidade taxonômica das comunidades de nematoides, além de contribuir para modulação e estruturação das comunidades de nematoides ao longo das áreas em processo de regeneração natural e sendo responsável por intermediar junto com os onívoros-predadores os processos energético entre as comunidades de nematoides.

Além disso, podemos inferir que com o envelhecimento, as propriedades do solo mudam nas florestas e isso, por sua vez, também influencia as comunidades de nematoides. Portanto, os ambientes físico-químicos e bióticos do solo também são uma importante força motriz a serem avaliadas em estudos futuros envolvendo diferentes gradientes de sucessão secundária na caatinga.

Em síntese, o estudo contribui para uma melhor compreensão da contribuição sobre a dinâmica dos organismos do solo para o processo de regeneração natural dos ecossistemas nas florestas tropicais sazonalmente secas. Destacando-se que a inclusão do papel da fauna do solo pode aumentar a previsibilidade do que acontece na sucessão secundária das florestas e portanto, abre portas para a inclusão dessas métricas nos programas voltados à restauração e conservação da biodiversidade.

8 REFERÊNCIAS

- ANAYA, C. A.; GARCÍA-OLIVA, F.; JARAMILLO, V. J. Rainfall and labile carbon availability control litter nitrogen dynamics in a tropical dry forest. **Oecologia**, v. 150, n. 4, p. 602–610, 2007.
- ANDRÁSSY, I. 1956. Die rauminhalt und gewichtsbestimmung der fadenwürmer, (Nematoden). *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungariae* 2: 1-15
Applied Ecology 48, 926-934.
- AUSTIN, A. T. et al. Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems. **Oecologia**, v. 141, n. 2, p. 221–235, 2004.
- AYALA-OROZCO, B. et al. Resilience of Soil Properties to Land-Use Change in a Tropical Dry Forest Ecosystem. **Land Degradation & Development**, v. 29, n. 2, p. 315–325, 9 mar. 2017.
- BANDA-R, K. et al. Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. **Science**, v. 353, n. 6306, p. 1383–1387, 22 set. 2016.
- BARNES, A. D. et al. Direct and cascading impacts of tropical land-use change on multi-trophic biodiversity. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 10, p. 1511–1519, 28 ago. 2017.
- BARROS, M. F. et al. Resprouting drives successional pathways and the resilience of Caatinga dry forest in human-modified landscapes. **Forest Ecology and Management**, v. 482, p. 118881, 15 fev. 2021.
- BAKONYI, G. et al. Soil nematode community structure as affected by temperature and moisture in a temperate semiarid shrubland. **Applied Soil Ecology**, v. 37, n. 1, p. 31–40, 1 out. 2007.
- BEJARANO, M. et al. The effects of increased N input on soil C and N dynamics in seasonally dry tropical forests: An experimental approach. **Applied soil ecology**, v. 73, p. 105–115, 2014 below-ground biodiversity. London: Earthscan, 2008. p. 97-106.
- BELLO, C. et al. Defaunation affects carbon storage in tropical forests. **Science Advances**, v. 1, n. 11, p. e1501105, 1 dez. 2015.
- BLACKIE, R; BALDAUF, C; GAUTIER, D; GUMBO, D; KASSA, H; PARTHASARATHY, N; PAUMGARTEN, F; SOLA, P; ... & SUNDERLAND, T. . **Tropical dry forests: The state of global knowledge and recommendations for future research**. Disponível em: <<https://www.cifor.org/knowledge/publication/4408/>>. Acesso em: 7 jul. 2022.
- BOAG, B.; YEATES, G.W. Soil nematode biodiversity in terrestrial ecosystems. **Biodiversity & Conservation**, v. 7, p. 617-630, 1998.

BONGERS, T. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. **Oecologia**, v. 83, p. 14-19, 1990.

BONGERS, T.; BONGERS, M. Functional diversity of nematodes. **Applied Soil Ecology**, v. 10, p. 239-251, 1998.

BONGERS, T.; FERRIS, H. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 14, n. 6, p. 224–228, jun. 1999.

CABRAL, R. B. Retificação e Análise de Características de Imagens de Nematoides. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia, Produção e Sistemas, 98p 1996.

CARES, J. E.; HUANG, S. P. Soil nematodes. In: MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNALL, D. E. (Ed.). A handbook of tropical soil biology: sampling and characterization of CARES, J.E.; HUANG, S.P. Comunidades de Nematoides de Solo sob Diferentes Sistemas na Amazônia e Cerrados Brasileiros, in: Moreira, F.M.S., Siqueira, J.O., Brussaard, L. (Eds.), Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. UFLA, Lavras, MG, pp. 409-444, 2008.

CESARZ, S., Ruess, L., Jacob, M., Jacob, A., Schaefer, M., Scheu, S., 2013. Tree species diversity versus tree species identity: driving forces in structuring forest food webs as indicated by soil nematodes. **Soil Biology and Biochemistry** 62, 36e45.

CHADWICK, R. et al. Large rainfall changes consistently projected over substantial areas of tropical land. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 2, p. 177, 2016.

CHAZDON, R. Regeneração de florestas tropicais. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, v. 7, n. 3, p. 195–218, 21 dez. 2012.

CHAZDON, R. L. **Second growth : the promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation**. Chicago: The University of Chicago Press, 2014.

CHAZDON, R. L. et al. Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics. **Science Advances**, v. 2, n. 5, p. e1501639, 1 maio 2016.

COIMBRA-FILHO, A. F; CÂMARA, I. G. Os limites originais do bioma Mata Atlântica na região Nordeste do Brasil. **Fundação Brasileira para Conservação da Natureza**, Rio de Janeiro. 1996.

COSTA NETO, I. F., Gonçalves, M. N., Salles, P. H. P., Gomes, S. S., Oliveira, V. F., Paulo, K.J., Silva, D. A. S. 2016. Microbiota aquática de três ambientes dulcícolas da RPPN Adília Paraguassu, Mucugê-BA – BA. Anais: 19º Semana de mobilização científica da UCSAL, 9p.

DICKIE, I. A. et al. Ecosystem service and biodiversity trade-offs in two woody successions. **Journal of Applied Ecology**, v. 48, n. 4, p. 926–934, 7 mar. 2011.

DA SILVA, J. V. C. DE L. et al. Effect of land use and seasonality on nematode faunal structure and ecosystem functions in the Caatinga dry forest. **European Journal of Soil Biology**, v. 103, p. 103296, 1 mar. 2021.

DA SILVA, J. V. C. DE L. et al. Land use, soil properties and climate variables influence the nematode communities in the Caatinga dry forest. **Applied Soil Ecology**, v. 150, p. 103474, 1 jun. 2020.

DE DEYN, B.G., Raaijmakers, C.E., Zoomer, H.R., Berg, M.P., de Ruiter, P.C., Verhoef, A., Bezemer, T., van der Putten, W.H., 2003. Soil invertebrate fauna enhances grassland succession and diversity. **Nature** 422, 711–713.

DE QUEIROZ, L. P. et al. Diversity and Evolution of Flowering Plants of the Caatinga Domain. **Caatinga**, p. 23–63, 2017.

DE VRIES, F.T.; THÉBAULT, E.; LIIRI, M.; BIRKHOFFER, K.; TSIAFOULI, M.A.; BJØRNLUND, L.; JØRGENSEN, H.B.; BRADY, M.V.; CHRISTENSEN, S.; DE RUITER, P.C.; D'HERTEFELDT, T. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 35, p. 14296-14301, 2013.

DICKIE, I.A., Yeates, G.W., St John, M.G., Stevenson, B.A., Scott, J.T., Rillig, M.C., Peltzer, **Diversidade de nematóides em agroecossistemas e ecossistemas naturais. - Portal Embrapa.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/571966/diversidade-de-nematoides-em-agroecossistemas-e-ecossistemas-naturais>>. Acesso em: 7 jul. 2022.

EKSCHMITT, K.; BAKONYI, G.; BONGERS, M.; BONGERS, T.; BOSTERMAN, S.; DOGAN, H.; HARRISON, A.; NAGY, P.; O'DONNELL, A. G.; PAPATHEODOROU, E M.; SOHLENIUS, B.; STAMOU, G. P.; WOLTERS, V. Nematode community structure as indicator of soil functioning in European grassland soils **European Journal of Soil Biology**, v. 37, n. 4, p. 263-268, 2001.

FAO. (2010). Global forest resources assessment 2010. FAO forestry paper, Rome. FU, B.; WANG, S.; SU, C.; FORSIUS, M. Linking ecosystem processes and ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 5, p. 4-10, 2013.

FERRIS, H. Form and function: metabolic footprints of nematodes in the soil food web. **European Journal of Soil Biology**, v. 46, p. 97-104, 2010.

FERRIS, H.; BONGERS, T.; DE GOEDE, R. G. M. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. **Applied Soil Ecology**, v. 18, n. 1, p. 13–29, set. 2001.

FERRIS, H.; SÁNCHEZ-MORENO, S.; BRENNAN, E. B. Structure, functions and interguild relationships of the soil nematode assemblage in organic vegetable production. **Applied Soil Ecology**, v. 61, p. 16–25, out. 2012.

FERRIS, H.; TUOMISTO, H. Unearthing the role of biological diversity in soil health. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 85, p. 101-109, 2015.

FERRIS, H.; VENETTE, R.C.; LAU, S.S. Population energetics of bacterial-feeding nematodes: carbon and Nitrogen budgets. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, p. 1183-1194, 1997.

FIALHO, J. S. et al. Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi-CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 3, p. 250–257, 2006.

FILGUEIRAS, B. K. C. et al. Recovery of dung beetle assemblages in regenerating Caatinga dry forests following slash-and-burn agriculture. **Forest Ecology and Management**, v. 496, p. 119423, set. 2021.

FLEGG, J.J.M., Hooper, D.J.,. Extraction of free-living stages from soil. In: Southey, J.F. (Ed.), *Laboratory Methods for Work with Plant and Soil Nematodes*. Commonwealth Agricultural Bureaux, Tech. Bull, pp. 5–22, 1970.

FREIRE, Neison Cabral Ferreira. PARQUE NACIONAL DO CATIMBAU. In: _____. (coord.). *Mapeamento e análise espectro-temporal das unidades de conservação de proteção integral da administração federal do bioma Caatinga: Parque Nacional do Catimbau*. Recife: [s.n.], 2015. 52 p. Disponível em: <https://antigo.fundaj.gov.br/images/stories/cieg/CAPITULOS/parnadocatimbaucieg.pdf>. Acesso em: 03 set. 2021.

GARDA, A. A. et al. Ecology, Biogeography, and Conservation of Amphibians of the Caatinga. **Caatinga**, p. 133–149, 2017.

GENTRY, A. H. **Diversity and floristic composition of neotropical dry forests**. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/books/abs/seasonally-dry-tropical-forests/diversity-and-floristic-composition-of-neotropical-dry-forests/4482CBC6F9FD8E01E0F6D30E9B7156A4>>. Acesso em: 7 jul. 2022.

GOULART, Alexandre Moura Cintra. *Análise de dados em estudos de diversidade de nematoides*. 1.ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. 46 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2010/31532/1/doc-251.pdf>.

HÁNEL, L. 2010. Recovery of soil nematode populations from cropping stress by natural secondary succession to meadowland. **Applied Soil Ecology** 22:255-270.

HENDRIX, P. F. et al. Detritus Food Webs in Conventional and No-Tillage Agroecosystems. **BioScience**, v. 36, n. 6, p. 374–380, jun. 1986.

IBGE | Biblioteca | Detalhes | Contas de ecossistemas : espécies ameaçadas de extinção no Brasil : 2014 / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Coordenação de Contas Nacionais. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101754>>. Acesso em: 19 out. 2022.

JENKINS, W. R. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, 48 (9): 992.

KARDOL, P. et al. Contrasting diversity patterns of soil mites and nematodes in secondary succession. **Acta Oecologica**, v. 35, n. 5, p. 603–609, set. 2009.

KENNARD, D. K. et al. Effect of disturbance intensity on regeneration mechanisms in a tropical dry forest. **Forest ecology and management**, v. 162, n. 2-3, p. 197-208, 2002.

LEAL, I. R. et al. Plant–Animal Interactions in the Caatinga: Overview and Perspectives. **Caatinga**, p. 255–278, 2017.

KEITH, A. M. et al. Strong impacts of belowground tree inputs on soil nematode trophic composition. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, n. 6, p. 1060–1065, jun. 2009.

KROGH, A. **STATE OF THE TROPICAL RAINFOREST**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://d5i6is0eze552.cloudfront.net/documents/Publikasjoner/Andrerapporter/RF_StateOfTheRainforest_2020.pdf?mtime=20210505115205>. Acesso em: 23 ago. 2022.

LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. Ecologia e conservação da Caatinga. Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

LEBRIJA-TREJOS, E. et al. Environmental changes during secondary succession in a tropical dry forest in Mexico. **Journal of Tropical Ecology**, v. 27, n. 5, p. 477–489, 1 set. 2011.

LI, N.; PAN, F.J.; HAN, X.Z.; ZHANG, B. Development of soil food web of microbes and nematodes under different agricultural practices during the early stage of pedogenesis of a Mollisol. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 98, p. 208-216, 2016

LI, Y. et al. Status of soil nematode communities during natural regeneration of a subtropical forest in southwestern China. **Nematology**, v. 17, n. 1, p. 79–90, 2015.

LIANG, Y. et al. Long-term forest restoration influences succession patterns of soil bacterial communities. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 16, p. 20598–20607, 6 jan. 2021.

LUQUE, G. M. et al. Ecological effects of environmental change. **Ecology Letters**, v. 16, p. 1–3, maio 2013.

MAASS, M.; BURGOS, A. Water Dynamics at the Ecosystem Level in Seasonally Dry Tropical Forests. **Seasonally Dry Tropical Forests**, p. 141–156, 2011.

MILES, L; NEWTON, A. C; FRIES, R. S; RAVILIOUS, C; MAY, I; BLYTH, S; KAPOV, V; GORDON, J. E. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. **Journal of Biogeography**, v. 33, p. 491–505, 2006.

MMA/IBAMA. Monitoramento do desmatamento nos Biomas Brasileiros por satélite – Acordo de Cooperação Técnica Mma/Ibama – Monitoramento do Bioma Caatinga 2008-2009 (p. 46). Brasília, DF, 2011.

MURPHY, P. G.; LUGO, A. E. Ecology of Tropical Dry Forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 17, p. 67–88, 1986.

NEHER, D. A. Ecology of Plant and Free-Living Nematodes in Natural and Agricultural Soil. **Annual Review of Phytopathology**, v. 48, n. 1, p. 371–394, jul. 2010. *Nematology*, 25, 315–331.

NISA, R. U. et al. Influence of ecological and edaphic factors on biodiversity of soil nematodes. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 5, p. 3049–3059, maio 2021.

PEDONE-BONFIM, Maria Valdirene Leite et al. Mycorrhizal benefits on native plants of the Caatinga, a Brazilian dry tropical forest. **Symbiosis**, v. 74, n. 2, p. 79-88, 2018.

PENNINGTON, R. T; LAVIN, M; OLIVEIRA-FILHO, A. Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 40, p. 437–457, 2009.

PENNINGTON, R. T.; LEHMANN, C. E. R.; ROWLAND, L. M. Tropical savannas and dry forests. **Current Biology**, v. 28, n. 9, p. R541–R545, maio 2018. RAMOS, M.A.; MEDERROS, P.M.; ALMEIDA, A.L.S.; FELICIANO, A.L.P.; ALBUQUERQUE, U.P. Can woody quality justify local preferences for firewood in area of Caatinga (dryland) vegetation? *Biomass and Bioenergy*, v. 32, p. 503-509, 2008.

POORTER, L. et al. Functional recovery of secondary tropical forests. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 118, n. 49, p. e2003405118, 7 dez. 2021.

RIBEIRO, E. M. S. et al. Chronic anthropogenic disturbance drives the biological impoverishment of the Brazilian Caatinga vegetation. **Journal of Applied Ecology**, v. 52, n. 3, p. 611–620, 25 mar. 2015.

RITO, K.F.; ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; QUEIROZ, R.T.; LEAL, I.R.; TABARELLI, M. Precipitation mediates the effect of human disturbance on the Brazilian Caatinga vegetation. **Journal of Ecology**, v. 105, p. 828-838, 2017.

RUESS, L.; FERRIS, H. Decomposition pathways and successional changes. [s.l.] Brill, 2004.

SALA, O. E. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. **Science**, v. 287, n. 5459, p. 1770–1774, 10 mar. 2000.

SAMPAIO, Everardo V.J.B. Overview of the Brazilian caatinga. In: Seasonally Dry Tropical Forests, **Cambridge University Press**, 1995. p. 35-63.

SÁNCHEZ-AZOFEIFA, G. A.; PORTILLO-QUINTERO, C. Extent and Drivers of Change of Neotropical Seasonally Dry Tropical Forests. **Seasonally Dry Tropical Forests**, p. 45–57, 2011.

SANTOS, David José dos. **Estoque de serrapilheira grossa e nutrientes em um mosaico de floresta seca na Caatinga**. 2019. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal. Recife, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/39511>>. Acesso em: 9 ago. 2022.

SEINHORST, J. W. A Rapid Method for the Transfer of Nematodes From Fixative To Anhydrous Glycerin. **Nematologica**, v. 4, n. 1, p. 67–69, 1 jan. 1959. SILVA, J. M. C. DA; BARBOSA, L. C. F. Impact of Human Activities on the Caatinga. **Caatinga**, p. 359–368, 2017.

SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. Caatinga – The largest tropical dry forest region in South America. **Springer International Publishing**. 2017.

SILVA, J.M.C.; LEAL, I.R.; TABARELLI, M. eds. Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America. Springer, 2017.

SIQUEIRA, G.R., 2006. Avaliação da Implementação do Parque Nacional do Catimbau – PE: análise do desenvolvimento sustentável na perspectiva do ecoturismo e da comunidade local. Recife, Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Geografia. 173p. (Dissertação – Mestrado).

SNE. Sociedade Nordestina de Ecologia. Projeto Técnico para a Criação do Parque Nacional do Catimbau/PE – versão final, em cumprimento ao contrato nº 086-00/02, Subprojeto “Proposta para criação do Parque Nacional do Catimbau/PE”. 2002.

SOUZA, D. G. et al. Multiple drivers of aboveground biomass in a human-modified landscape of the Caatinga dry forest. **Forest Ecology and Management**, v. 435, n. July 2018, p. 57–65, 2019.

STAMOU, G. P. et al. A Case Study of Nematode Communities’ Dynamics along Successional Paths in the Reclaimed Landfill. **Diversity**, v. 12, n. 7, p. 274, 9 jul. 2020.

SUN, S. et al. Soil Bacterial and Fungal Communities Show Distinct Recovery Patterns during Forest Ecosystem Restoration. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 83, n. 14, 15 jul. 2017.

TABARELLI, M. 2012. Perturbações Antrópicas, Mudanças Climáticas e a Biota Futura da Caatinga. Projeto do Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração. Recife, Pernambuco, Brasil.

TABARELLI, M; SIQUEIRA, F. F. S; BACKÉ, J; WIRTH, R; LEAL, I. R. Ecology of leafcutting ants in human-modified landscapes. In: OLIVEIRA, P. S; KOPTUR, S. (editors):

AntPlant Interactions: Impacts of Humans on Terrestrial Ecosystems, p 73-90. **Cambridge University Press**. 2017.

TOMAZINI, M. D. Caracterização das comunidades de nematóides em mata nativa e áreas contíguas submetidas a diferentes tipos de uso agrícola em Piracicaba (SP). Piracicaba, 2008. 67 f. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

TRAP, J. et al. Ecological importance of soil bacterivores for ecosystem functions. **Plant and Soil**, v. 398, n. 1, p. 1-24, 2016. DOI: 10.1007/s11104-015-2671-6. Disponível em:

UGARTE, C.; ZARBOSKI, Ed. Soil Nematodes in Organic Farming Systems. **eOrganic**, Corvallis, 8 jan, 2020. Disponível em: <https://eorganic.org/node/4495>.

VAN DEN HOOGEN, J. et al. Soil nematode abundance and functional group composition at a global scale. **Nature**, v. 572, n. 7768, p. 194–198, 24 jul. 2019.

WAGG, C.; DUDENHÖFFER, J.H.; WIDMER, F.; VAN DER HEIJDEN, M.G. Linking diversity, synchrony and stability in soil microbial communities. **Functional Ecology**, v. 32, p. 1280-1292, 2018.

YEATES, G.W.; BONGERS, T.; DE GOEDE, R.G.M.; FRECKMAN, D.W.; GEORGIEVA, S.S. Feeding habits in soil nematode families and genera - an outline for soil ecologists. **Journal of Nematology**, v. 25, p. 315-331, 1993.

ZHANG, X., Guan, P., Wang, Y., Li, Q., Zhang, S., Zhang, Z., ... Liang, W. 2015. Community composition, diversity and metabolic footprints of soil nematodes in differently-aged temperate forests. **Soil Biology and Biochemistry** 80: 118-126.

ZHAO, J. et al. The Soil Biota Composition along a Progressive Succession of Secondary Vegetation in a Karst Area. **PLoS ONE**, v. 9, n. 11, p. e112436, 7 nov. 2014

WALL, J.; SKENE, K.; NEILSON, R. Nematode community and trophic structure along a sand dune succession. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, n. 4, p. 293–301, 1 jun. 2002.

WANG, J. et al. Nature restoration shifts the abundance and structure of soil nematode communities in subtropical forests. **Plant and Soil**, 26 nov. 2021.