

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

LILIANE DA CRUZ PINHEIRO

ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO EM
CULTIVO DE MORINGA (*MORINGA OLEIFERA* LAM.) SOB MANEJO
CONSERVACIONISTA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO.

Recife -PE

2019

LILIANE DA CRUZ PINHEIRO

ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO EM CULTIVO DE MORINGA (*MORINGA OLEIFERA* LAM.) SOB MANEJO CONSERVACIONISTA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO.

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do Título de Doutorado em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Conservação de água e solo

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO:

ORIENTADOR: Prof. Ph.D. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro

Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE

Recife- PE

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Centra, Recife-PE, Brasil

P654a Pinheiro, Liliane da Cruz

Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em cultivo de moringa (*Moringa Oleifera* Lam.) sob manejo conservacionista no semiárido pernambucano / Liliane da Cruz Pinheiro. – 2019.

137 f. : il.

Orientador: Abelardo Antônio de Assunção Montenegro.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, BR-PE, 2019.

Inclui referências e apêndice(s).

1. Cobertura morta (Agricultura) 2. Carbono 3. Moringa oleifera
4. Análise espacial (Estatística) I. Montenegro, Abelardo Antônio de Assunção, orient. II. Título

CDD 630

LILIANE DA CRUZ PINHEIRO

ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO EM
CULTIVO DE MORINGA (*MORINGA OLEIFERA* LAM.) SOB MANEJO
CONSERVACIONISTA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO.

Tese defendida e aprovada pela Banca Examinadora em: 22/02/2019

ORIENTADOR:

Prof. Ph.D. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro
Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE

BANCA EXAMINADORA:

Dr.^a Adriana Guedes Magalhães
Instituto Nacional do Semiárido - INSA

Dr. José Nildo Tabosa
Instituto Agrônômico de Pernambuco – IPA/PE

Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE
Unidade Acadêmica de Serra Talhada- UAST

RECIFE – PE
2019

A Deus por ter ajudado a
tornar realidade esse
objetivo, a minha família
e amigos pelo apoio,
compreensão e incentivo
em todos os momentos,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela presença constante na minha vida, por me confortar nas horas mais difíceis, e pela sua misericórdia.

Aos meus irmãos, Lindinalva, Lenilda, Laércio e Lamartine, , cunhado (Eduardo Girão) e cunhadas (Ana Flávia e Osilda), sobrinhos (Igor, Caio e Thiago) e sobrinhas (Tharcila e Marina) pelo incentivo, apoio, acreditar e orar. Agradeço especialmente a minha irmã Lindinalva por me ajudar nos momentos mais difíceis da pesquisa.

Agradeço especialmente ao homem que Deus pôs em minha vida, Álamo, por me ajudar nos momentos mais difíceis, com o seu apoio e incentivo para prosseguir com a batalha.

A todos os amigos, em especial a Adri, Thayná, Lívia, Quesia, Cleyton, Hilda, Thais, entre outros, por acreditar em mim, incentivar, apoiar e me suportar.

Ao meu orientador, o professor Abelardo A. A. Montenegro, pela oportunidade, confiança, orientação, compreensão e acima de tudo a amizade. Agradeço a professora Ana Marinho pelo apoio nos momentos difíceis. Aos colegas de pós-graduação e colegas do Laboratório Água e Solo (LAS), por sempre oferecerem apoio e me suportar por tanto tempo.

À banca examinadora, composta pelos professores pelas contribuições e aceite do convite. Agradeço a todos os professores que se colocaram a disposição para me ajudar, tirando dúvidas, e aos professores que disponibilizaram laboratórios, equipamentos, entre outras ferramentas.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, ao Programa de Pós - Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade. A todos os professores e coordenadores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

Ao coordenador do campus de Parnamirim Eurico Lustosa, ao engenheiro agrônomo Edson Abrantes, a todos os funcionários de Parnamirim pela ajuda sempre que solicitado.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos e fomento do projeto.

Esta Tese recebeu fomento do CNPq, estando relacionada com os projetos “Avanços ecológicos na cadeia produtiva do biodiesel brasileiro: Recuperação de áreas degradadas a partir de práticas conservacionistas e utilização de oleaginosas não convencionais” (Processo 558.876/2010-2), “Análise de processos hidrológicos e de desempenho de técnicas conservacionistas em bacias experimentais no semiárido” (Processo 420.488/2018-9), e “Pesquisa e tecnologias hídras para o desenvolvimento do semiárido de Pernambuco” (Processo APQ 0300-5.03/17), coordenados pelo prof. Abelardo Montenegro.

RESUMO

Atualmente um dos principais desafios científicos e tecnológicos para mitigar os efeitos da degradação do solo tem sido a restauração não só da estrutura, mas também do funcionamento do sistema degradado, no entanto, esforços nessa linha só serão bem sucedidos se puderem agregar benefícios econômicos e sociais, e os benefícios ecológicos. Na tentativa de reverter este cenário, as práticas conservacionistas são consideradas alternativas para fundamentar um novo paradigma, baseado no desenvolvimento sustentável. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espaço-temporal dos atributos físicos, químicos, biológicos do solo e desenvolvimento da cultura de Moringa (*Moringa oleifera* Lam) sob técnica de manejo conservacionista vegetativa, cobertura morta (pó de coco). Para isto, realizaram-se dois experimentos em campo no vale aluvial no semiárido, na Estação Experimental de Agricultura Irrigada de Parnamirim - PE, pertencente à Universidade Federal Rural de Pernambuco. O primeiro experimento foi avaliado efeito da cobertura morta e adubação orgânica nos parâmetros físico-químicos do solo, nematofauna do solo e desenvolvimento do cultivo Moringa sob irrigação. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado cujos fatores avaliados compreenderam quatro tratamentos (presença de cobertura morta (PCM), presença de adubação orgânica (PAO), presença de adubação e cobertura morta (PAOCM) e testemunha); repetição ao longo do tempo (antes do transplântio, 205 DAT, 332 DAT, 438 DAT, 604 DAT) com cinco repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, com níveis de significância de 5% para o teste F, sendo utilizado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. No segundo experimento foram selecionadas três áreas: uma área na mata ciliar (MC), e duas áreas adjacentes com cultivo de Moringa sob irrigação (uma área contendo uso de prática conservacionista, utilizando pó de coco como cobertura morta (PCM), e outra área com ausência da cobertura morta (ACM)). Os dados obtidos foram submetidos à análise descritiva e análise geoestatística para caracterização da dependência espacial para modelagem de semivariogramas e elaboração de mapas de krigagem. Realizou-se, em ambos os experimentos, a determinação dos parâmetros fenológicos: altura de plantas e diâmetro caulinar. Foram determinados os teores de umidade (w), carbono orgânico (CO), atividade microbiana (C-CO₂), condutividade elétrica do solo (CE). Apenas o primeiro experimento foi avaliado a nematofauna do solo e temperatura do solo e planta. De acordo com os resultados obtidos, a técnica de manejo conservacionista utilizando a cobertura morta (pó de coco) influenciou no desenvolvimento da oleaginosa moringa e contribuiu para o acréscimo do carbono orgânico no solo, diminuindo a perda de umidade do solo e a temperatura do solo. Observou-se que houve incremento significativo nos valores do carbono orgânico na época de amostragem (205 DAT, 332 DAT e 604 DAT), principalmente no tratamento com presença de cobertura morta. As variações do carbono orgânico do solo são mais evidentes para a camada de 0,0 - 0,20 m, não tendo ocorrido variabilidades importantes no tratamento na ausência de cobertura morta. A atividade microbiana com os tratamentos com e sem cobertura, não se observando evidência de distinção de padrões. Os parasitos de planta foram

dominantes dentre os grupos tróficos, havendo presença de nematoides *Rhabditis*, *Rhabditidae* e *Diplogaster*, que possuem escala c-p1, nos tratamentos com presença de cobertura morta, sendo indicativo de que a área está em um ambiente perturbado. Os nematoides são considerados importantes bioindicadores que são influenciados pelas propriedades químicas do solo em condições de campo sob o plantio de oleaginosa. De acordo com os resultados obtidos no estudo, o plantio da oleaginosa se desenvolveu adequadamente na região, proporcionando novos conceitos junto com técnica conservacionista para a convivência com as condições do solo e escassez hídrica, incrementando os estoques de carbono no solo.

Palavra-chave: Cobertura morta, geoestatística, *Moringa oleifera* Lam, carbono orgânico.

ABSTRACT

Currently one of the main scientific and technology to mitigate the effects of soil degradation has been the restoration not only of the structure but also of the functioning of the degraded system. However, efforts in this line will only be successful if they can add economic and social benefits and ecological benefits. In an attempt to reverse this scenario, conservation practices are considered alternatives to support a new paradigm based on sustainable development. The objective of this work was to evaluate the spatial-temporal variability of the physical, chemical and biological attributes of the soil and the development of the Moringa (*Moringa oleifera* Lam) crop under vegetative conservation management technique, mulch (coconut powder). For this, two field experiments were carried out in the semi-arid alluvial valley at the Experimental Station of Irrigated Agriculture of Parnamirim - PE, belonging to the Federal Rural University of Pernambuco. The first experiment was evaluated the effect of mulching and organic fertilization on the soil physical-chemical parameters, soil nematode fauna and development of the Moringa crop under irrigation. The experimental design was completely randomized, with four treatments (presence of mulching (PCM), presence of organic fertilization (PAO), presence of fertilization and mulch (PAOCM) and control); repetition over time (before transplanting, 205 DAT, 332 DAT, 438 DAT, 604 DAT) with five replicates, totaling 20 experimental units. Data were submitted to analysis of variance, with significance levels of 5% for the F test. The Tukey test was used at a 5% probability level. Three areas were selected: one area in the riparian forest (MC), and two adjacent areas with Moringa cultivation under irrigation (one area containing conservation practice using coconut powder as mulch) and another absence of mulching). The obtained data were submitted to descriptive analysis and geostatistical analysis to characterize spatial dependence for semivariograms modeling and elaboration of kriging maps. The determination of the phenological parameters: plant height and stem diameter were carried out in both experiments. The values of soil moisture (w), organic carbon (CO), microbial respirometry (C-CO₂) and soil electrical conductivity (EC) were determined. Only the first experiment was evaluated to soil nematode and soil and plant temperature. According to the results, the conservation management technique using mulch (coconut powder) influenced the development of the moringa oleaginous and contributed to the increase of organic carbon in the soil, reducing soil moisture loss and soil temperature. It was observed that there was a significant increase in organic carbon values at the sampling time (205 DAT, 332 DAT and 604 DAT), mainly in the treatment with presence of mulch. Soil organic carbon variations are more evident for the 0.0 - 0.20 m layer, and there were no important variability in the treatment in the absence of mulch. Microbial respirometry with the treatments with and without cover, no evidence of pattern distinction was observed. Plant parasites were dominant among the trophic groups, with presence of *Rhabditis*, Rhabditidae and *Diplogaster* nematodes, which have a c-p1 scale, in treatments with presence of mulch, indicating that the area is in a disturbed environment. Nematodes are

considered important bioindicators that are influenced by the chemical properties of the soil under field conditions under oleaginous planting. According to the results obtained in the study, the planting of the oilseed was adequately developed in the region, providing new concepts along with conservationist technique to coexist with the soil conditions and water scarcity, increasing the carbon stocks in the soil.

Key words: Mulching, geostatistics, *Moringa oleifera* Lam, organic carbon.

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Mapa de localização do município de Parnamirim – PE	20
Figura 2. Croqui da área experimental I e experimental II.	22
Figura 3. Malha regular experimento II.	23
Figura 4. Valores de precipitação (mm); temperatura (°C) e evapotranspiração (mm/dia) do local de estudo, no período de out/16 a set/18.	29
Figura 5. Valores de precipitação (mm); temperatura (°C) Condutividade elétrica (dS.m ⁻¹) do local de estudo, no período de nov/16 a jul/18 (A); Teores de sódio e potássio na água (B).	32
Figura 6. Relação entre temperatura (°C) da superfície e da planta, através de técnicas termográficas, 332 DAT (A); 438 DAT (B); 604 DAT (C).	45
Figura 7. Imagem termográfica de solo e planta com a câmera termográfica	46
Figura 8. Box-Plot da biometria da oleaginosa <i>Moringa oleifera</i> Lam com presença e ausência de cobertura morta. Altura da planta (cm) (A); Diâmetro caulinar (mm) (B).	50
Figura 9. Box-Plot da variável Carbono orgânico do solo (g. Kg ⁻¹) com presença, ausência de cobertura morta e mata ciliar. Camada 0,0 - 0,20 m (A); Camada 0,20 - 0,40 m (B).	52
Figura 10. Box-Plot da variável umidade do solo (g. g ⁻¹) com presença, ausência de cobertura morta, e mata ciliar. Camada 0,0 - 0,20 m (A); Camada 0,20 - 0,40 m (B).	53
Figura 11. Box-Plot da atividade microbiana do solo (mgCO ₂) na presença, ausência de cobertura morta e mata ciliar.	55
Figura 12. Box-Plot da condutividade elétrica do solo (dS.m ⁻¹) com presença, ausência de cobertura morta e mata ciliar. Camada 0,0 - 0,20m (A); Camada 0,20-0,40m (B).	56
Figura 12. Semivariograma do carbono orgânico do solo (g. Kg ⁻¹), para os tratamentos presença de cobertura, ausência de cobertura, e a mata ciliar.	62
Figura 13. Mapa de isolinhas para variável Carbono orgânico do solo (g. Kg ⁻¹) na camada de 0,0 - 0,20 m no período de amostragem, para os tratamentos presença de cobertura, ausência de cobertura, e a mata ciliar.	63
Figura 14. Distribuições de frequência acumuladas para o carbono orgânico no solo (g. Kg ⁻¹).	64
Figura 15. Semivariograma da umidade do solo (g. g ⁻¹) para os tratamentos presença de cobertura, ausência de cobertura, e a mata ciliar.	65
Figura 16. Mapa de isolinhas para variável umidade do solo (g. g ⁻¹) na camada de 0,0 - 0,20 m no período de amostragem, para os tratamentos presença de cobertura, ausência de cobertura, e a mata ciliar.	67
Figura 17. Semivariograma da atividade microbiana do solo (mgCO ₂) para os tratamentos presença de cobertura, ausência de cobertura, e a mata ciliar.	69
Figura 18. Mapa de isolinhas para variável atividade microbiana (mgCO ₂) no período de amostragem para os tratamentos presença de cobertura, ausência de cobertura, e a mata ciliar.	70
Figura 20. O comportamento dos dados médios da condutividade elétrica do solo (dS.m ⁻¹) nas camadas 0,0 - 0,20 m (A) e 0,20 - 0,40 m, para os tratamentos presença de cobertura, ausência de cobertura, e a mata ciliar.	71

Figura 21. Abundância da Comunidade de nematoides em área de cultivo Moringa e Mata Ciliar, durante as épocas da amostragem nos tratamentos (PCM, ACM, PAO, PAOCM, MC). Abundância dos Rhabditidae (A); Abundância dos *Acrobeles* (B); Abundância dos *Dorylaimoides* (C); Abundância dos *Pratylenchus* (D); Abundância dos *Helicotylenchus* (E). 76

Figura 22. Abundância dos grupos tróficos em área de cultivo Moringa e Mata Ciliar. Abundância dos grupos tróficos durante as épocas da amostragem (A); Abundância com relação as épocas da amostragem e tratamentos (B); Abundância dos grupos tróficos com relação aos tratamentos (C); Abundância das comunidades de nematoides com relação aos tratamentos e época de amostragem (D). 77

LISTA DE TABELAS

Pág.

Tabela 1. Coeficiente de cultura (Kc) da <i>Moringa oleífera</i> Lam.	25
Tabela 2. Caracterização química das áreas do experimento no Campus Avançado da UFRPE, Município de Parnamirim-PE.	30
Tabela 3. Caracterização física das áreas do experimento no Campus Avançado da UFRPE, Município de Parnamirim-PE. Argila, Areia e Silte, em g/kg; Densidade de partículas (Dp), m g cm^{-3} ; Densidade do solo (DS), em g cm^{-3} .	31
Tabela 4. Análise de variância dos parâmetros da biometria da oleaginosa <i>Moringa oleífera</i> Lam. e temperatura da planta ($^{\circ}\text{C}$) sob presença dos tratamentos no período de 205, 332, 438 e 604 DAT da cultura.	39
Tabela 5. Média do parâmetro diâmetro caulinar da oleaginosa <i>Moringa oleífera</i> Lam sob presença dos tratamentos após e 205, 332, 438 e 604 DAT da Moringa.	40
Tabela 6. Análise de variância dos parâmetros físico, químico e temperatura do solo sob presença dos tratamentos no período antes do transplântio, 205, 332, 438 e 604 DAT da cultura.	41
Tabela 7. Média dos parâmetros carbono orgânico do solo camada 0,0 – 0,20 m sob presença dos tratamentos nos períodos 205, 332, 604 DAT da Moringa.	42
Tabela 8. Média dos parâmetros umidade na camada de 0,0 – 0,20 m, condutividade elétrica nas camadas 0,0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, e a temperatura do solo na camada superficial sob presença dos tratamentos no período 438 DAT da Moringa.	43
Tabela 9. Coeficientes de correlação entre as variáveis estudadas.	44
Tabela 10. Estoque de carbono orgânico total (COT) calculado em camada equivalente de solo e em massa equivalente de solo nos sistemas.	48
Tabela 11. Abundância, média e dominância dos Taxa de nematoides.	74

SUMÁRIO

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	04
2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS DO CULTIVO DA OLEAGINOSA <i>MORINGA OLEIFERA</i> LAM.	04
2.2. PRÁTICA CONSERVACIONISTA - USO DE COBERTURA MORTA	05
2.3. QUALIDADE DO SOLO	09
2.3.1. Carbono Orgânico do Solo	09
2.3.2. Atividade microbiana	11
2.3.3. Nematoide	12
2.4. DINÂMICA DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO	14
2.5. TEMPERATURA SUPERFICIAL DO SOLO COM USO DA TERMOGRAFIA	15
2.6. VARIABILIDADE ESPACIAL	16
3. HIPÓTESES E OBJETIVOS	19
3.1. HIPÓTESES	19
3.2. OBJETIVOS	19
3.2.1. Geral	19
3.2.2. Específicos	19
4. METODOLOGIA	20
4.1. ÁREA DE ESTUDO	20
4.2. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO E DELINEAMENTO	21
4.3. PREPARO DAS ÁREAS E MANEJO DA IRRIGAÇÃO	24
4.4. DADOS METEOROLÓGICOS	27
4.5. PARÂMETROS AVALIADOS	29
4.6. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1. EFEITOS DAS PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS NAS RESPOSTAS FENOLÓGICAS DA MORINGA E NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	39
5.2. ESTOQUES DE CARBONO NO SOLO EM ÁREA DE REFERÊNCIA E EM FUNÇÃO DO MANEJO ADOTADO	47
5.3. VARIABILIDADE ESPACIAL DA BIOMETRIA E DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO, NA PRESENÇA E AUSÊNCIA DA COBERTURA MORTA.	50
5.3.1. Variabilidade espacial biometria da planta (Altura e diâmetro caulinar)	50
5.3.2. Variabilidade espacial parâmetros físicos e químicos do solo	52
5.4. ANÁLISE DE NEMATOFAUNA	72
5. CONCLUSÃO	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
APÊNDICE	106

1. INTRODUÇÃO

O planejamento do desenvolvimento sócio-econômico deve contemplar uma dimensão ambiental. Os recursos naturais utilizados de forma inadequada impactam os ecossistemas, danificando ou mesmo destruindo a sua capacidade de auto-regulação e renovação, ocasionando assim em progressiva redução da biodiversidade, degradação ambiental das condições de vida.

No Brasil, 15% do território (1,27 milhões de km²) estão suscetíveis à desertificação. A área de mais de 1 milhão de quilômetros quadrados engloba 1.492 municípios em nove Estados do Nordeste e em partes de Minas Gerais e do Espírito Santo e quase 37 milhões de pessoas, de acordo com dados do MMA (2018).

Os processos de degradação do solo promovem forte impacto socioeconômico na região semiárida do nordeste brasileiro. Nas áreas produtivas, podem ocasionar o empobrecimento do solo e torna-se um risco de perda da produção. Tais processos são acelerados pelas ações antrópicas, tais como: uso e ocupação desordenada do solo, queimadas, remoção da cobertura vegetal, manejo agrícola inadequado e ausência de práticas conservacionistas.

Atualmente um dos principais desafios científico se tecnológicos para mitigar os efeitos da degradação tem sido a restauração não só da estrutura, mas também do funcionamento do sistema degradado, no entanto, esforços nessa linha só serão bem sucedidos se puderem agregar benefícios econômicos e sociais, os benefícios ecológicos. Na tentativa de reverter este cenário, as práticas agroecológicas modernas são consideradas como uma alternativa para fundamentar um novo paradigma, baseado no desenvolvimento sustentável.

A agricultura moderna tem como base, o desenvolvimento sustentável, onde objetiva uma produtividade econômica com mínima degradação do ambiente. Uma exploração agrícola sustentável necessita de manutenção e melhoria da qualidade do solo, porém, a intensificação da exploração agrícola aliada ao uso e ao manejo inadequado do solo e da água, tem ocasionado modificações negativas nas propriedades físicas do solo aumentando sua erosão e limitando a produtividade das culturas (SOUZA, 2004).

A recuperação de áreas degradadas sugere a necessidade de técnicas de manejo conservacionistas. Estas práticas, para serem amplamente aplicadas, devem conter baixo custo, promover a recuperação da área empobrecida e conservação da biodiversidade, além de serem adequadas às características socioculturais do local (DURIGAN 1999).

Com um manejo adequado as pastagens podem contribuir significativamente a mitigação dos efeitos oriundos do aumento do efeito estufa potencializando o sequestro de carbono pelo solo. É imprescindível a realização de estudos que identifiquem sistemas de manejo que contribuam para a restauração da fertilidade e para o incremento dos estoques de carbono no solo, pois além da capacidade de mitigação do CO₂ atmosférico, a matéria orgânica do solo é o principal componente para a melhoria dos atributos do solo e sustentabilidade do agroecossistema (SIQUEIRA et al., 2008). Uma alternativa que vem sendo discutida como uma opção viável para reduzir, em parte, a emissão de carbono na atmosfera, é o sequestro e armazenamento de carbono atmosférico, o que pode ser feito pela vegetação.

Considera-se essencial para região do semiárido do nordeste a utilização de plantas tolerantes ou resistentes às condições edafoclimáticas da região. Nesse sentido, sugere-se minimizar as áreas degradadas com o cultivo de oleaginosas, bem como a adoção do uso de técnicas conservacionistas. As oleaginosas podem ser produzidas em áreas consideradas pouco produtivas, com possibilidade de geração de emprego e renda no campo, permitindo ainda o seu aproveitamento na produção de biodiesel que se constitui uma fonte de energia limpa e renovável.

A *Moringa oleifera* Lam. (moringa) é uma espécie que vem sendo utilizada como uma alternativa nas regiões semiárida, podendo ser empregada na agricultura familiar como fonte de suplemento alimentar (por motivo do seu alto valor nutritivo), como purificador de água, como planta medicinal e como fonte de óleo contido em suas sementes. A espécie é considerada uma alternativa para produção (Foidl et al., 2001; Phiri e Mbewe, 2010), e torna-se ainda mais atrativa pelo fato de ser cultivado facilmente, com baixo custo de produção e alto rendimento (Ferreira et al., 2008). As sementes apresentam alto valor comercial contendo alto teor de óleo (39%), além de alta qualidade para produção de biocombustível com 78% de ácido oléico e alta estabilidade contra oxidação (Rashid et al., 2008; Silva et al., 2010).

Portanto, o uso de práticas de manejo pode influenciar positivamente no processo de restauração ambiental, e que a implantação de prática conservacionista

através de cobertura morta em áreas consideradas degradadas proporciona melhores condições de desenvolvimento do cultivo e maiores estoques de carbono orgânico no solo, nesse contexto o presente trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo e crescimento da cultura de Moringa (*Moringa oleifera* Lam) sob técnica de manejo conservacionista no semiárido Pernambucano.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS DO CULTIVO DA OLEAGINOSA *MORINGA OLEIFERA* LAM.

A região semiárida apresenta dificuldade na disponibilidade de alimento, de água potável devido às condições edafoclimáticas. Portanto, é interessante estudos de espécies que sejam resistentes às condições de restrição hídrica e que apresentem diversos usos. Com esse aspecto, a moringa (*Moringa oleifera* Lam.) destaca-se por ser uma espécie exótica, e apresenta potencial para plantio no semiárido brasileiro. (VASCONCELOS, 2013).

O cultivo de moringa tem sido incentivado com a finalidade de aumentar a segurança alimentar e reduzir a desnutrição em regiões em desenvolvimento (BOATENG et al., 2018). Além de seu uso em indústrias de alimentos e ração animal, as partes da árvore da moringa têm sido utilizadas em outras indústrias relevantes, como energia, bioenergia, agricultura e medicina (AHMAD et al., 2016; AGBOUN et al., 2016; BAPTISTA et al., 2017). Por apresentar diversos usos: nutricional, industrial e medicinal, vem sendo difundida em todo o semiárido, tornando-se ainda mais atrativa, por ser de baixo custo de produção e alto rendimento (SILVA, 2013).

A moringa é uma árvore nativa da Índia, de crescimento rápido, que desenvolve amplamente pelas regiões tropicais e subtropicais, tolera solos das regiões áridas e semiáridas que possui pH de 4,5 a 9 no solo (PEREIRA et al., 2016), típicos, do sertão nordestino brasileiro (GUALBERTO et al., 2014).

A folha, flor e fruto são utilizada em diversas culinárias (BAPTISTA et al., 2012) as folhas e frutos têm valor alimentares, sendo as folhas ricas em vitaminas A e C, cálcio, ferro e fósforo e os frutos apresentam altos teores de proteína. O óleo extraído da semente é utilizado na indústria como lubrificante e na fabricação de perfumes (NASCIMENTO et al., 2015). As sementes apresentam propriedades ideais para a produção de biocombustível, o óleo obtido pode ser usado no preparo de alimentos, na fabricação de sabonetes, cosméticos (PEREIRA et al., 2016). A Moringa produz 1 tonelada $\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de óleo de semente vegetal (SALAHHELDEEN et al., 2014), com uma produção de aproximadamente de 2,25 ton $\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de sementes.

Estudos relatam que o consumo de *Moringa oleifera* Lam., melhora o estado de saúde, a eficiência alimentar, o desempenho de crescimento e a qualidade de várias espécies de animais, com taxas de inclusão que geralmente não excedendo 5% do consumo total de matéria seca (FALOWO et al., 2018). A utilização da semente como coagulante no tratamento de purificação de água (AL-ANIZI et al., 2014; ARANTES et al., 2015) remoção da turbidez (MADRONA et al., 2010), na remoção de protozoários parasitas (NISH, 2011).

A Moringa é considerada uma cultura de múltiplas finalidades e com grande potencial, todas as suas partes são adequadas para uma nutrição humana e animal sustentável. A comunidade científica relatou que a moringa pode ajudar a melhorar a segurança alimentar e reduzir a desnutrição e a desertificação (DOMENICO et al., 2018). Por estas propriedades, esta cultura é hoje considerada uma das mais importantes e compatíveis com os grandes temas relacionados à segurança alimentar e sustentabilidade, tanto do ponto de vista ambiental como sócio-econômico.

A Moringa está entre as espécies vegetais que também tem demonstrado propriedades anti-helmínticas contra *H. contortus*. Folhas e sementes parecem abrigar compostos de diferentes naturezas biológicas como agentes responsáveis pelos efeitos ovicidas observados (SALLES et al., 2014; TAYO et al., 2014).

O espaçamento para plantio de moringa deve-se levar em conta o modelo de exploração do plantio. Assim, quando o objetivo é a produção de frutos e sementes, o espaçamento recomendado é de 3 a 6 m entre fileiras e plantas. Se o plantio for feito em camalhões, esses devem ter 2,0 m de largura no topo, com as plantas espaçadas de 3 a 6 m no sentido das fileiras. Quando se deseja apenas a produção de folhas (forragem), usa-se o espaçamento de 0,50 m entre plantas com fileiras espaçadas de 1,0 m entre si. (SILVA et al., 2018).

2.2. PRÁTICA CONSERVACIONISTA - USO DE COBERTURA MORTA

A utilização de práticas conservacionistas para a conservação do solo tem a finalidade de proteger a superfície do solo contra os agentes erosivos e manter os teores de matéria orgânica essenciais para desenvolvimento da cultura. No entanto, o uso de técnicas que favoreçam a manutenção de água, e conseqüentemente a redução da evaporação, é considerado práticas importantes para a sustentabilidade agrícola.

O Uso da cobertura morta no solo é considerado uma prática conservacionista vegetativa, pois reúne tanto vantagens agrônômicas quanto de preservação ambiental, recomendada nas regiões semiáridas por redução das perdas de água do solo, redução da erosão superficial, e contribuição para a melhoria do desempenho das culturas. Santos et al. (2009) constataram em estudos realizados com chuva simulada, que a cobertura morta produziu significativa redução da erosão do solo, que o cultivo em nível, barramentos em pedra e adoção de cobertura morta reduzem perdas provocadas por erosão, podendo ser um recurso utilizado por agricultores do semiárido, como técnica de conservação do solo, da água e nutrientes, na produção agrícola.

A cobertura morta pode ser descrita como sendo uma camada de resíduos de planta espalhada sobre a superfície do solo, que além de proteger o solo contra a ação climática e erosão, mantém a umidade no solo onde possibilita o desenvolvimento da vida microbiana no qual atua na decomposição da matéria orgânica disponibilizando o nitrogênio e outros elementos químicos fundamentais para o desenvolvimento das plantas.

Estudos vêm sendo conduzidos por vários pesquisadores (CARVALHO et al, 2011; SHEN et al., 2012; BORGES et al., 2014; MONTENEGRO et al., 2013; ABRANTES et al., 2015). Para estes pesquisadores, a utilização da cobertura morta tem oferecido vários benefícios, entre os quais: aumento da umidade do solo, proteção contra o impacto direto das gotas da chuva, redução do escoamento e da erosão hídrica, redução da temperatura do solo e menor incidência de plantas daninhas, aumento da rentabilidade.

Shen et al. (2012) avaliaram o efeito de diferentes taxas de cobertura morta (0, 6 e 12 t ha⁻¹) no solo verificando que a cobertura contribuiu para o aumento da umidade do solo a uma profundidade de 0,20 - 0,80 m, influenciando significativamente o conteúdo de água do solo, reduziu o escoamento superficial e promoveu a produção agrícola, onde a produtividade de grãos foi superior com a presença da cobertura morta na maior taxa de aplicação (12 t ha⁻¹), em relação aos demais tratamentos. Borges et al. (2014), avaliaram os efeitos de diferentes tipos de cobertura na manutenção da umidade do solo, sob condição de chuva natural, bem como nas características agrônômicas da cultura do milho (*Zea Mays* L.), em regime de sequeiro, observaram que os tratamentos com cobertura morta aumentou significativamente a umidade do solo, contribuindo para infiltração da água no solo, tendo melhor aproveitamento da água da chuva, além

de reduzir a perda por evaporação em relação ao tratamento com solo descoberto, e favoreceu ao desenvolvimento do milho em regime de sequeiro.

Montenegro et al. (2013) investigaram a influência de duas densidades de cobertura morta (2 t ha^{-1} e 4 t ha^{-1}) no escoamento superficial, no umedecimento do solo, solo, e no controle do aquecimento do solo. Esses autores a ocorrência da redução da vazão de pico, produzindo reduções de escoamento, aumento da infiltração e da drenagem, com um aumento significativo da úmida de do solo para a densidade de 4 t ha^{-1} , redução das taxas de erosão para todos os eventos. Abrantes et al. (2015) avaliaram o desempenho do modelo da onda cinemática no escoamento superficial oriundo de eventos de chuvas intermitentes de múltiplos picos considerando-se diferentes densidades de cobertura. O estudo mostrou que a cobertura morta afeta fortemente o escoamento superficial.

Santos et al. (2011) investigaram a variabilidade temporal do conteúdo superficial da água no solo sob diferentes tipos de cobertura superficial do solo, através da reflectometria no domínio do tempo (TDR), considerando-se as características de precipitação ocorridas no semiárido pernambucano. Os autores obtiveram como resultado que a umidade do solo apresentou elevada variabilidade no tempo, estando relacionada aos diferentes tipos de cobertura e propriedades do solo, e a cobertura morta mostrou ser a prática conservacionista mais adequada para manutenção da umidade do solo. Souza et al. (2011) adotaram 9 t ha^{-1} de palha feijão como cobertura morta em um vale aluvial ambiente altamente heterogêneo no município de Pesqueira/PE, com lâminas de irrigação controlada por microaspersão. Esses autores verificaram que a cobertura morta mostrou-se eficiente na retenção de umidade do solo e reduziu o coeficiente de variação, diminuindo, assim, a variabilidade espacial da umidade do solo.

Santos et al. (2016), com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes fontes de adubação, e da cobertura morta, na produtividade, componentes de produção do repolho Midore e na umidade do solo em região semiárida do Estado de Pernambuco, observaram que a cobertura morta de 9 t ha^{-1} com adoção de turno de rega diário, influenciou significativamente a umidade do solo ao longo do tempo.

Entre os materiais orgânicos utilizados como cobertura morta do solo destaca-se o pó de coco, matéria abundante na região Nordeste do Brasil devido ao seu grande consumo e representa uma solução para a utilização das cascas do coco descartadas.

Segundo Rosa et al. (2001), a casca do coco é composta por uma fração de fibras e outra fração denominada pó, que se apresenta agregada às outras fibras. Para obtenção da fibra processa-se a casca do coco maduro, gerando um resíduo originando o pó de coco. As boas propriedades físicas da fibra de coco, a sua não reação com os nutrientes da adubação, sua durabilidade longa sem alteração das características físicas, a matéria-prima em abundância e o custo baixo para o produtor, torna o pó de coco uma alternativa de cobertura morta do solo excelente para o uso em produção agrícola (CARRIJO et al., 2002).

Segundo Nunes et al. (2007), os resíduos de coco compõem matérias-primas para produção de substratos e adubos orgânicos com elevada importância agronômica, social e econômica sem desvantagens ecológicas, podendo promover de maneira significativa o aumento da produção e melhora na qualidade dos alimentos. A casca do coco, após triturada, origina o pó, compõe uma excelente matéria-prima considerada abundante e renovável para fabricação de substratos. Além de ser hidrófilo, pois retém de oito a dez vezes o seu peso em água e apresenta alta porosidade, beneficia as características físicas e biológicas do meio de cultivo de diversas espécies vegetais, estabelecendo em um excelente estimulador de enraizamento de plantas. Esses efeitos são extremamente importantes na redução dos efeitos da escassez hídrica do local, economia da água para irrigação e a melhoria das condições ambientais para os microrganismos

Métodos de determinação dos teores de carbono total (CT), carbono orgânico (CO) e matéria orgânica no solo (MOS) foram avaliados por Carmo e Silva (2012) em diferentes amostras de resíduos orgânicos, e verificou-se que no resíduo de casca de coco apresentaram de teores de MOS (49,4%), CT (18,2%) e CO (16,1%).

O pó de coco é um substrato facilmente obtido na Região Nordeste. É classificado como um resíduo orgânico de origem do mesocarpo fibroso do coco e tem sido visto como uma fonte alternativa para a redução dos custos dos substratos, com resultados positivos no desenvolvimento de plântulas de diversas culturas (MEEROW, 1994). E vem sendo apontado como substrato agrícola, principalmente, por apresentar uma grande vantagem quanto à estrutura física, propiciando alta porosidade e alto potencial de retenção de umidade, e por ser biodegradável, vem demonstrando bom desempenho como substrato no cultivo de hortaliças (EMBRAPA, 2002).

2.3. QUALIDADE DO SOLO

As atividades agrícolas, por meio de diferentes práticas de manejo pode alterar a capacidade produtiva do solo. Portanto faz-se necessário avaliar o impacto de uma determinada prática sobre o solo (LISBOA et al., 2012).

Usualmente, a qualidade do solo agrícola é considerada sob três aspectos: físico, químico e biológico, sendo importantes nas avaliações da extensão da degradação ou melhoria do solo e para identificar a sustentabilidade dos sistemas de manejo (ARATANI et al., 2009).

2.3.1. Carbono Orgânico do Solo

O carbono orgânico do solo é considerado o principal componente da fração orgânica do solo e assume um desempenho fundamental nas propriedades químicas, biológicas e físicas do solo e na sua susceptibilidade à degradação (MU et al., 2014; WANG et al., 2018).

Para o bioma Caatinga, os autores discutem tanto ganhos como perdas nos estoques de C nos diferentes manejos do solo (SOUSA et al., 2012). Fraceto et al. (2012) avaliaram o estoques de carbono e nitrogênio no solo cultivado com mamona na caatinga, e observaram que os resultados mostram que o constante aporte de resíduos vegetais na Caatinga provocou o manutenção dos estoques de C (90 Mg ha^{-1}) e N (10 Mg ha^{-1}) na camada de 0 - 0,30 m e a mudança do manejo da área para o cultivo da mamona ocasionou redução em aproximadamente 50% nos estoques de C e N do solo em relação à vegetação nativa nos primeiros 10 anos de implantação da cultura.

Barros et al. (2015) avaliaram os estoques de C e N em solos sob diferentes sistemas de manejo no Sertão Paraibano, Brasil. E concluíram que a produção agrícola e os sistemas pecuários estão funcionando como emissores de C-CO₂ quando comparados com a vegetação nativa.

Schulz et al. (2016) estudaram os efeitos do pastejo sobre o carbono orgânico do solo na Caatinga do nordeste brasileiro, observaram que não houve efeito do pastejo sobre estoques de carbono para profundidades do solo $> 5 \text{ cm}$, e o teor de argila e a altitude são os fatores mais relevantes que influenciaram o estoque de carbono.

Rossetti e Centurion (2015) verificaram os estoques de carbono orgânico e atributos físicos de um Latossolo em uma cronossequência sob diferentes manejos. Os resultados obtidos pelos autores mostraram que a maioria dos tratamentos manteve o teor do estoque de carbono (EC) durante a transição da camada superficial para a subsuperficial.

Vicente et al. (2012) avaliaram o efeito da aplicação da vinhaça na estabilidade dos agregados e nos índices de agregação do solo e nas correlações das propriedades físicas do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar no litoral sul do Estado de Pernambuco, observaram que o carbono orgânico total apresentou melhores correlações com os indicadores DMP (diâmetro médio ponderado), AGRI (percentuais de agregados > 2 mm) e MF (módulo de finura), em áreas com vinhaça.

Santos et al. (2007), em estudo de perda de carbono orgânico, potássio e solo em Neossolo Flúvico sob diferentes sistemas de manejo, verificaram que os teores de carbono orgânico correlacionaram-se linearmente e positivamente com as taxas de perda de solo nos tratamentos, sendo estas perdas de carbono orgânico e potássio mais elevadas nos sistemas não conservacionistas de manejo do solo em relação à adoção de práticas conservacionistas simples.

Zhu et al. (2017) estudaram os efeitos da declividade e profundidades em carbono orgânico em uma região semiárida, concluindo que CO pode ser expresso como funções das profundidades do solo e da inclinação.

Araújo Filho et al. (2018) investigaram estoques de carbono e atividade microbiana em solos de florestas de Caatinga que haviam sido submetidos a colheita em diferentes épocas do passado, no entanto os resultados mostraram que os estoques de C e a atividade microbiológica foram fortemente influenciados pelos tempos de corte da floresta, e refletem perdas significativas de C associadas a esse tipo de manejo.

Calonego et al. (2011) avaliaram as propriedades físicas do solo e a relação dessas com o teor de matéria orgânica, além que quantificaram o estoque de carbono total, nas camadas de 0,0 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m de profundidade, em áreas sob diferentes tipos de manejo, e compararam com solo de mata nativa. Os autores observaram que a intervenção humana através de práticas agropecuárias reduz o estoque de carbono no solo a patamares muito inferiores ao encontrado em condições de mata nativa.

2.3.2. Atividade Microbiana

A biomassa microbiana tem sido utilizada como parâmetro para mensurar as quantidades de nutrientes nas células microbianas e assim fornecer informações sobre a reciclagem de nutrientes, especialmente em estudos que avaliam a qualidade do solo (AMARAL et al., 2012).

Lago et al. (2012) estudaram os indicadores de qualidade dos solos em áreas ocupadas por usos e manejos agrícolas diversificados na microbacia do Ribeirão Extrema (DF), visando verificar a sustentabilidade dos agroecossistemas nesta microbacia, de relevância agrícola para o DF, os autores constataram que parte dos indicadores de qualidade do solo como carbono da biomassa microbiana foi influenciada pelos diferentes tipos de manejo estudados (plantio direto (PD), manejos diversificados (rotação milho-soja e sucessão feijão-sorgo)).

A atividade microbiana, medida pela respiração basal do solo, correlaciona-se diretamente com a decomposição da matéria orgânica e da reciclagem de nutrientes por microrganismos e, portanto, é uma ferramenta útil para comparar diferentes sistemas de manejo agrícola e práticas agrícolas (AMARAL et al., 2012).

Moura et al. (2015) avaliaram a atividade microbiana, através da respiração basal e as taxas de estratificação em solo tratado com resíduos orgânicos e cultivado com citros, no Estado de Sergipe, e concluíram que a relação de estratificação mostrou-se eficaz ao avaliar a influência das diferentes práticas de manejo entre as profundidades evidenciando a melhoria da atividade microbiana pelas práticas conservacionistas.

Segundo Araújo e Monteiro (2007), os estudos sobre bioindicadores mostram que os microrganismos do solo, por suas características tais como a abundância e atividade bioquímica e metabólica, além de proporcionar respostas mais rápidas a mudanças no ambiente, apresentam um alto potencial de uso na avaliação da qualidade do solo.

Paredes Junior et al. (2015) avaliaram os efeitos do cultivo de cana-de-açúcar sem queima da palhada (colheita mecanizada) em comparação a um sistema com queima da palhada (colheita manual) sobre a biomassa microbiana do solo e índices derivados. Os autores constataram que biomassa microbiana do solo, por responder às alterações causadas pelos diferentes sistemas de colheita da cultura da cana-de-açúcar, pode ser considerada um bioindicador em potencial para avaliação da qualidade de solo.

Hu et al. (2014) realizaram uma investigação de campo dos padrões de distribuição de microorganismos através dos ecossistemas de pastagens áridas e semiáridas, onde avaliaram múltiplas variáveis como preditores de grupos microbianos do solo, e o carbono orgânico do solo pareceu ser um preditor proeminente da biomassa microbiana. As variáveis climáticas também mostraram efeitos indiretos através da modificação dos parâmetros do solo.

2.3.3. **Nematoide**

Nematóides existem em grande número em solos que diferem em sua diversidade nutricional. Os mesmos desempenham uma função importante na cadeia alimentar dos detritos do solo, envolvido tanto no controle da decomposição da matéria orgânica do solo como na ciclagem de nutrientes. O nematóide do solo é muito sensível às medidas de manejo agrícola e às mudanças ambientais e, portanto, é amplamente utilizado como bioindicador da qualidade do solo (LIU et al., 2013)

Levi et al. (2012) ressaltaram a importância dos fatores ambientais (clima, tipo de solo, disponibilidade de alimentos) na formação da densidade de comunidades de nematóides. De fato, a influência na composição trófica e na abundância varia de um ecossistema para outro em uma escala temporal e espacial.

Alguns autores observaram que os fatores interferem nas comunidades de nematoides no solo: a vegetação e umidade do solo (BRIAR et al., 2012, FERRIS et al., 2012) clima, o tipo de solo (LEVI et al., 2012; STEVNBAK et al., 2012) a idade de plantio (DUYCK et al., 2012) matéria orgânica do solo (MATOS et al., 2012), textura do solo (HODSON et al., 2014), resistência mecânica do solo (CARDOSO et al., 2012) e distribuição espacial (PARQUE et al., 2014)

Levi et al. (2012) observaram que cada região climática tem um efeito distinto na comunidade de nematoide, que corresponde às suas condições ambientais ao longo das estações. Desta forma, se testadas e descritas, podem ser uma valiosa ferramenta para avaliar os efeitos das mudanças climáticas nos processos ecológicos do sistema solo. Demonstrando a importância, amplitude e alto potencial de uso de nematóides de vidas livres como bioindicadores.

Cardoso (2014), Cardoso et al. (2015) e Cardoso et al. (2016) ressaltaram a influência do uso, manejo do solo e das propriedades físicas na comunidade de

nematoides em áreas cultivadas com cana-de-açúcar e remanescentes de Floresta Atlântica em Pernambuco.

Vicente (2016) avaliou padrões e relações de atributos físicos (granulometria, umidade, densidade e porosidade do solo) e químicos do solo (pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ trocáveis, evolução C-CO₂ do solo e carbono orgânico total) e do tecido vegetal (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) com a nematofauna e os efeitos dos nematoides na absorção de nutrientes pela cana-de-açúcar e padrões de crescimento da cultura (altura do colmo, número de perfilho, número colmos e massa fresca e seca das folhas). Conclui que os nematoides respondem de formas diferentes às práticas agrícolas, sendo a resposta afetada pelo tempo e adubação, e as relações entre os nematoides parasitos de planta e as variáveis químicas do solo e da planta são complexas e se influenciam mutuamente, não havendo, nas condições estudadas, resposta expressiva dos parasitos de planta a uma ou poucas variáveis, mas ao conjunto delas.

Landi et al. (2018) avaliaram a eficácia potencial do manejo de terras para melhorar a biodiversidade dos nematoides do solo, e verificaram que muitas famílias de nematoides são afetadas pelo conteúdo de carbono orgânico do solo, e que os baixos teores de carbono orgânico determinam uma baixa melhoria na biodiversidade dos nematoides do solo.

Estudo realizado por Tayo et al. (2014) comprovou que diferentes extratos das folhas de moringa exibiram forte ação nematicida sobre quatro estádios de desenvolvimento do endoparasita *Haemonchus contortus*, entretanto, novamente foram sugeridos apenas compostos do metabolismo secundário como responsáveis por tal efeito.

Gutiérrez et al. (2016) avaliaram o uso de nematóides como indicadores de qualidade ambiental em áreas (florestal, agricultável e industrial), fortemente influenciada pelas atividades humanas.

2.4. DINÂMICA DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO

A dinâmica da água no solo é muito variável, em particular, com o tempo, influenciada pelas chuvas, irrigações, drenagem ou pela evaporação e outras práticas de manejo da cultura. Torna-se importante para o melhor uso racional da água na agricultura, o conhecimento do teor de água no solo, sua variação temporal e espacial, sob diferentes condições de solo e práticas culturais (ANDRADE JÚNIOR et al., 2013).

Melo e Montenegro (2015) observaram que as áreas com presença de cobertura apresentaram melhor retenção de umidade do que o solo descoberto, assim como Borges et al. (2014) que ao avaliar a influência de diferentes técnicas conservacionistas na manutenção da umidade do solo, bem como nas características agronômicas da cultura do milho (*Zea Mays* L.), no semiárido pernambucano, sob condição de chuva natural, concluíram que os tratamentos conservacionistas possibilitaram maiores incrementos no armazenamento de água no solo durante a maior parte do tempo, em regime sequeiro, promovendo assim maior umidade do solo, nas camadas de 0,20 e 0,40 m de profundidade.

Conforme Li et al. (2013), a cobertura morta reduz a evaporação e aumenta a disponibilidade de água no solo. Santos et al. (2011) investigaram a variabilidade temporal do conteúdo superficial da água no solo, através da reflectometria no domínio do tempo (TDR) e verificaram que a cobertura morta se destacou como a prática conservacionista mais adequada para manutenção da umidade do solo, nas condições do estudo.

Diversos são os métodos para a determinação do teor de água e, dentre eles, logo os métodos eletrométricos vêm ganhando espaço em função de sua maior versatilidade (FREITAS et al., 2012). Gomes et al. (2013) compararam a umidade do solo com um medidor eletrônico que permite medição direta no campo e o método padrão de estufa em um Latossolo Vermelho distroférico, evidenciaram a eficiência do uso do Hidrofarm na obtenção de uma curva parcial de retenção de água no solo, além de que, é um excelente instrumento de campo para o monitoramento da água no solo durante o ciclo de uma determinada cultura, visando ao manejo de irrigação ou à realização do monitoramento do balanço de água no solo.

2.5. TEMPERATURA SUPERFICIAL DO SOLO COM USO DA TERMOGRAFIA

O solo tem capacidade de armazenar e distribuir a energia solar e/ou resultante do processo de decomposição interna de suas partes orgânicas. A responsabilidade dessa energia é a manutenção dos processos fisiológicos envolvidos como a atividade microbiológica, a germinação e rebrota de órgão reprodutivo e o desenvolvimento de plantas, que poderão ser cessados se o solo não estiver dentro de uma faixa com oscilação pequena e temperatura adequada (GASPARIM et al., 2005).

A energia no solo depende de vários fatores internos, como: estrutura, textura, respiração microbiana, teor de matéria orgânica e umidade do solo, profundidade avaliada (SILVEIRA et al., 2013) e externos como: velocidade do vento, radiação líquida, umidade relativa do ar e níveis de cobertura do solo (SEBEN et al., 2011), que quando manejados adequadamente podem trazer benefícios ao ambiente de produção agrícolas.

A temperatura do solo é considerada um dos principais fatores abióticos que controlam a respiração do solo através de seus efeitos nas atividades biológicas do solo e na decomposição da matéria orgânica do solo (KONCZ et al., 2015). Segundo Oliveira et al. (2015), o fluxo de calor no solo é influenciado por fatores meteorológicos, localização geográfica, declividade, cobertura vegetal, chuva e a ação antrópica.

Silva (2015), analisando a variação da temperatura da superfície do solo na região semiárida de Pernambuco sob diferentes condições de cobertura e densidades, concluiu que as condições de cobertura reduziram a temperatura da superfície do solo. Os efeitos da temperatura e umidade do solo nas taxas de produção de CO₂ provavelmente variam dependendo da profundidade do solo (YU et al., 2017). A aplicação da termografia na ciência vem crescendo significativamente em diversas áreas. Tal técnica tem sido aplicada com sucesso, como uma ferramenta em estudos hidrológicos (LIMA e ABRANTES, 2014a).

Aplicações têm sido desenvolvidas de imagem de alta resolução em estudos hidrológicos: distribuições de temperatura da água superficial e interação água subterrânea / águas superficiais (DANIELESCU et al., 2009; MEJÍAS et al., 2012). Lima e Abrantes (2014b) utilizaram a termografia para estimar a superfície dos

microrrelevos do solo, permitindo obter modelos à elevação da superfície do solo em 3D, com uma precisão satisfatória.

2.6. VARIABILIDADE ESPACIAL

Os atributos químicos e físicos do solo apresentam, frequentemente, dependência espacial. Portanto, é imprescindível estudar sua variabilidade espacial visando ao manejo mais preciso da lavoura, a redução do impacto ambiental, a otimização do uso de máquinas e o aumento da eficiência das equipes de trabalho (SANTOS et al, 2012a).

Vários estudos abordando a variabilidade espacial de atributos do solo têm-se realizado nos últimos anos por vários pesquisadores (FONTES JÚNIOR et al., 2012; SANTOS et al., 2012b; MONTENEGRO et al., 2013; CEDDIA et al., 2015; MELO e MONTENEGRO, 2015; SILVA et al., 2015). Para esses pesquisadores, estudos relacionados com a variabilidade de atributos químicos e físicos são importantes ferramentas para identificar áreas com maior aptidão para cultivos, para a gestão dos recursos hídricos, e para o manejo do solo.

Baroni et al. (2013) destacaram a importância de considerar a variabilidade espaço-temporal da vegetação na investigação da dinâmica da umidade do solo, especialmente sob condições de umidade intermediária e seca do solo. Concluíram que, sob condições de secas, a distribuição espacial da umidade do solo é afetada principalmente pela variabilidade espacial da vegetação.

Lei et al. (2011) reforçam que a variação espaço-temporal da umidade do solo é causada por um efeito abrangente de vegetação, fenômenos meteorológicos (principalmente chuvas), terreno (declividade, orientação de vertentes, altitude e diferenciação geográfica) e atividades agrícolas em diferentes escalas.

Guo et al. (2015) mapearam a variabilidade espaço-temporal da salinidade do solo em um campo de arroz usando três anos de dados EM38 na China. Os autores concluíram que a metodologia deste estudo pode ser usada como orientação para pesquisadores interessados em compreender o desenvolvimento da salinidade do solo, bem como gestores de terras com o objetivo de monitoramento efetivo da salinidade do solo e práticas de manejo.

Zucco et al. (2014) avaliaram a influência do uso do solo na variabilidade espaço-temporal da umidade do solo, e observaram que os padrões temporais da umidade média do solo em campo dos diferentes locais foram muito semelhantes, enquanto a variabilidade espacial, mesmo sob diferentes condições de uso do solo, onde a análise temporal da estabilidade permitiu identificar o local de pastagem como a mais representativa do comportamento da umidade do solo.

Souza et al. (2011), estudando a variabilidade espaço-temporal da umidade do solo em perímetro irrigado no semiárido pernambucano, observaram que a presença de cobertura morta influencia positivamente a estabilidade temporal da umidade do solo, a medida que a área com cobertura morta apresentou maiores valores médios de umidade do solo nas camadas de 0,0 - 0,20 e 0,0 - 0,40 m, quando comparada com a área sem cobertura morta do solo. Os autores enfatizaram que a estabilidade temporal da umidade do solo é ainda maior na camada de 0,0 - 0,40 m, quando comparada à camada de 0,0 - 0,20 m, fato este que pode ser comprovado pelo baixo valor do coeficiente de variação encontrado.

Pinheiro et al. (2017) utilizaram técnicas geoestatísticas para mapear o desenvolvimento de cultivo de Moringa sob presença e ausência de cobertura morta, tendo-se constatado a importância da cobertura para a planta. Este estudo foi desenvolvido na mesma área experimental adotada nesta Tese, e se encontra em anexo.

Montenegro e Montenegro (2006) avaliaram a relação entre variabilidade espacial da salinidade, a textura e a condutividade hidráulica do solo, de modo a identificar áreas com maior aptidão para cultivos, e informam que os vales aluviais do semiárido apresentam elevado potencial para a pequena agricultura irrigada, embora sejam susceptíveis ao acúmulo de sais, tanto na zona não-saturada quanto na saturada, a depender, dentre outros fatores, da distribuição espacial de suas características hidráulicas.

Souza et al. (2008) examinaram a evolução e variabilidade espacial da salinidade em Neossolo Flúvico, em região semiárida de Pernambuco, cultivado com cenoura sob irrigação com água moderadamente salina e com presença de cobertura morta de restos de feijão com densidade de 9 t ha^{-1} , verificaram que em duas áreas com 900 m^2 , essa por sua vez foi denominada de setor 1 e 2, que na camada de 0,0 - 0,40 m, a área salina no setor 1, inicialmente de 7,98%, aumentou para 15,09% ao final do ciclo cultural e para o setor 2, a área salina passou de 5,97% para 5,52%.

Aquino et al. (2014), com objetivo de usar a geoestatística na avaliação dos atributos físicos em Latossolo sob floresta nativa e pastagem, verificaram que os semivariogramas explicaram a maior parte da variância dos dados experimentais. Cunha et al. (2017) com objetivo de avaliar os atributos físicos e o carbono orgânico em áreas de Terra Preta Arqueológica, no município de Novo Aripuanã - AM, sob os cultivos feijão guandu (*Cajanuscajan*) e pastagem, em comparação com a cobertura de floresta, com base em técnicas de geoestatística, observaram que o modelo exponencial no semivariograma escalonado mostrou grau de dependência espacial forte para os usos do solo sob feijão guandu e pastagem e moderado para a área sob floresta.

Assim torna-se importante determinar a extensão e a intensidade da dependência espacial das variáveis do solo, em conjunto ou separadamente com outros parâmetros para compreender melhor a relação dos atributos químicos, físicos e biológico do solo, e avaliar a heterogeneidade espacial, visando melhorar a qualidade do manejo do solo na região semiárida de Pernambuco.

3. HIPÓTESES E OBJETIVOS

3.1. HIPÓTESES

A técnica de manejo conservacionista influencia o estoque de carbono, conservação de umidade do solo e desenvolvimento da Moringa.

Os nematoides são importantes bioindicadores influenciados pelas propriedades físicas e químicas do solo em condições de campo sob o plantio de oleaginosa.

O resultado de avaliação do plantio da oleaginosa para minimizar o processo de degradação no semiárido indicará novos conceitos e técnica conservacionista para a convivência com as condições do solo e escassez hídrica.

3.2. OBJETIVOS

3.2.1. Geral:

Avaliar a variabilidade espaço-temporal dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo e crescimento da cultura de Moringa (*Moringa oleifera* Lam) sob técnica de manejo conservacionista em vale aluvial no semiárido Pernambucano.

3.2.2. Específicos:

- Analisar o efeito da utilização da técnica de manejo conservacionista no desenvolvimento da oleaginosa, no estoque de carbono, conservação da umidade e condutividade elétrica do solo em vale aluvial na bacia do Rio Brígida;
- Avaliar a distribuição espaço-temporal do carbono orgânico, umidade, da condutividade elétrica do solo, antes e após o plantio da Moringa;
- Determinar a dependência espacial do carbono orgânico, umidade, da condutividade elétrica do solo utilizando técnicas geoestatísticas;
- Identificar nematofauna em cada manejo do solo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos: O primeiro experimento teve como objetivo avaliar a viabilidade agrônômica do plantio de Moringa, em condições de semiárido, e os impactos nas condições físico-químicas do solo; o segundo experimento teve como foco a utilização da ferramenta geoestatística na avaliação da condutividade elétrica; carbono; umidade com a presença e ausência de cobertura morta sobre do plantio da Moringa;

4.1. ÁREA DE ESTUDO

O município de Parnamirim está localizado a 570 km da capital Recife nas coordenadas 8'4'30" S, 39'07'30" O, altitude 397 m, na bacia do Rio Brígida na mesorregião sertão de Pernambuco, contendo como bioma a Caatinga e solo classificado como Luvisolo Crômico órtico (IBGE, 2018), pouco fértil com risco de salinização. O clima é tropical semiárido BShW, a precipitação pluviométrica média anual de 543,60 mm com temperatura média anual de 26,7 °C em 2017 (APAC, 2017; AGRITEMPO, 2018), com período chuvoso iniciando em novembro e com término em abril.

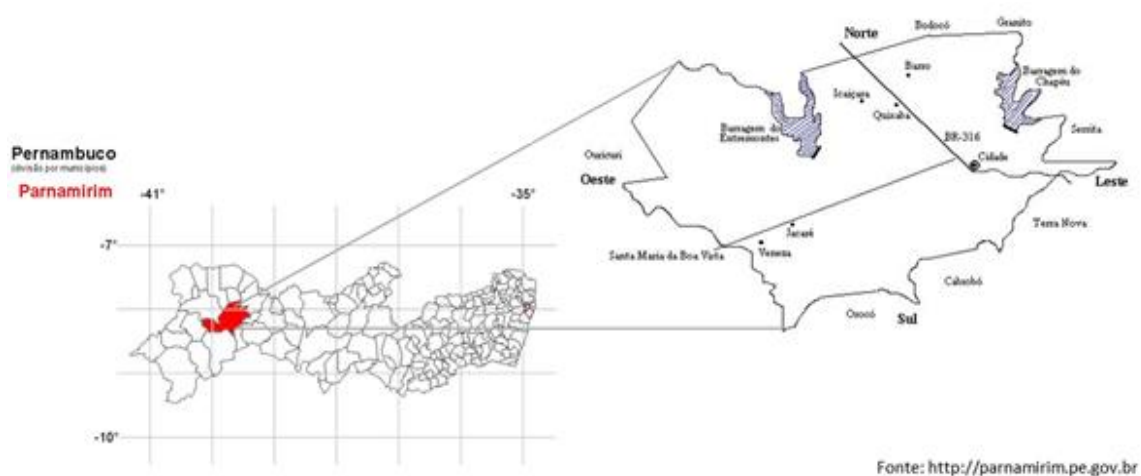


Figura 1. Mapa de localização do município de Parnamirim – PE

4.2. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO E DELINEAMENTO

4.2.1. Experimento I

A unidade experimental foi composto por 1 planta por parcela totalizando 24 parcelas com sistema de irrigação por microaspersão instalados, o espaçamento entre planta e fileira de 3 x 3 m foi baseado nas recomendações Silva et al. (2018), onde o espaçamento deve-se levar em conta o modelo de exploração do plantio. Assim, quando o objetivo é a produção de frutos e sementes, o espaçamento recomendado é de 3 a 6 m entre fileiras e plantas.

As plantas foram submetidas aos tratamentos: PAO – Presença de adução orgânica (Esterco caprino) sem cobertura morta; PAOCM – Presença de adubação orgânica com cobertura morta; PCM – Presença de Cobertura morta (Pó de coco) sem adubação orgânica e Testemunha (ausência de adubação orgânica e pó de coco).

O Experimento foi conduzido em condições de campo, utilizando-se um delineamento inteiramente casualizado com 04 tratamentos e 05 repetições, totalizando 20 parcelas experimentais (Figura 2). As coletas foram realizadas Antes do transplântio (nov/16); 205 DAT (dias após o transplântio) (maio/17); 332 DAT (outubro/17); 438 DAT (janeiro/18); 604 DAT (julho/18), no qual abrange o período seco e chuvoso da região. Em novembro/16 ocorreu o transplântio da muda de moringa e aplicação da cobertura morta, outubro/17 houve a necessidade de realizar a poda da moringa. As amostras coletadas foram em duas profundidades, totalizando 40 amostras por campanha.

As desramas artificiais das moringas foram realizadas após a primeira florada deixando-a com 150 cm, conforme as recomendações Jesus et al. (2013).

A aplicação da adubação orgânica (esterco caprino) foi com quantidade de 15 t . ha⁻¹ conforme Bakke et al. (2010). Cada cova com área de 0,25 m² recebeu 0,375 kg, totalizando 4,5 kg.

A área recebeu pó de coco como cobertura, cuja densidade é de 8 t . ha⁻¹, conforme Montenegro et al. (2013). No experimento I foi necessário aplicar 1,231 kg de pó de coco por planta, totalizando em área circular de 1,53 m², cuja densidade é de 8 t .

ha⁻¹. Assim, um total de 14,77 kg de pó de coco foi utilizado por aplicação, para satisfazer a densidade requerida, tendo havido a reaplicação da cobertura morta a cada 3 meses.

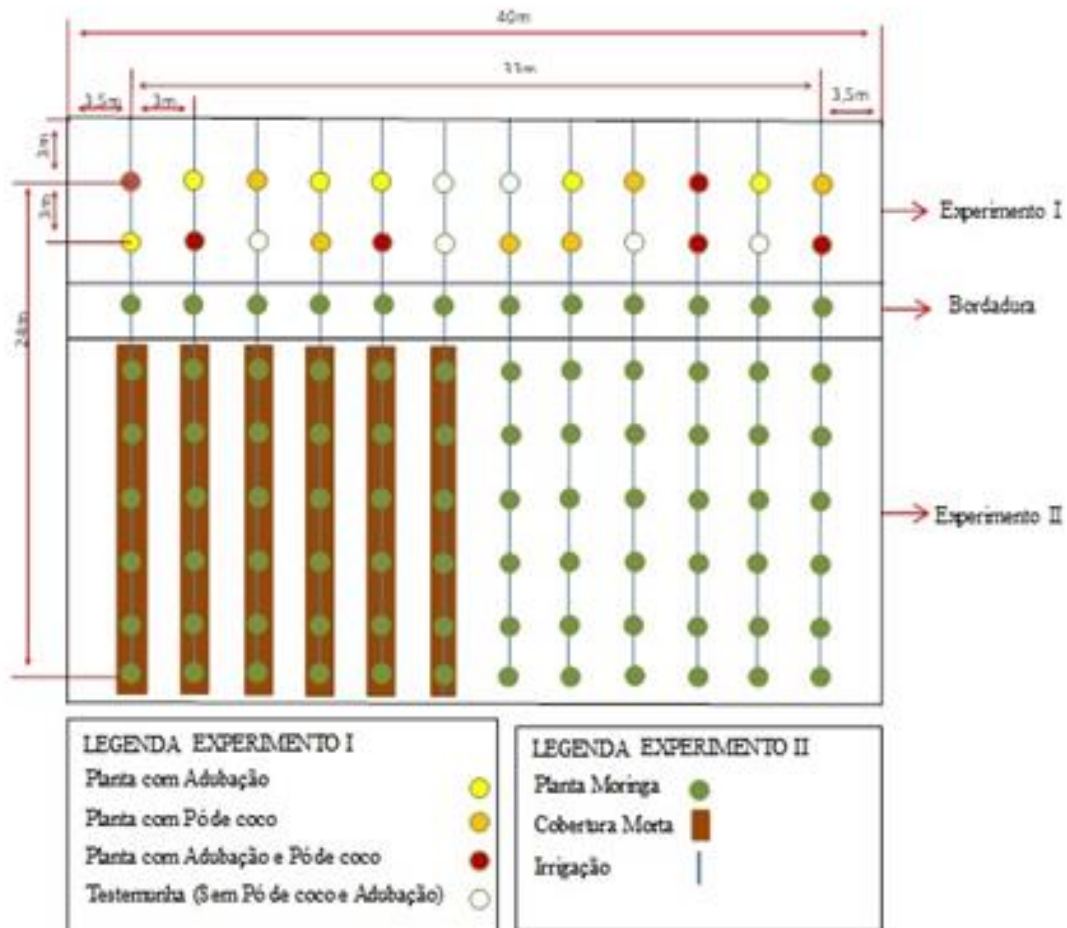


Figura 2. Croqui da área experimental I e experimental II.

4.2.2. Experimento II

O experimento instalado utilizou uma malha regular (Figura 2) e foi dividido em 03 setores: PCM (Presença de cobertura morta) e ACM (Ausência de cobertura morta) e MC (Mata ciliar) (Figura 3). Os setores possui uma área de 225 m² (15 x 15 m), onde o setor PCM recebeu cobertura morta do solo, enquanto que o setor ACM não recebeu cobertura do solo conforme o delineamento experimental empregado por Souza et al. (2011), que adotaram duas práticas de manejo do solo (uma com cobertura morta e outra sem cobertura morta) com um sistema de irrigação por microaspersão instalados em uma rede regular. As coletadas foram realizadas Antes do transplântio (nov/16); 205 DAT (dias após o transplântio) (maio/17); 332 DAT

(outubro/17); 438 DAT (janeiro/18), onde novembro/16 ocorreu o transplântio da muda de moringa, aplicação da cobertura morta e a primeira coleta de solo representado como solo desnudo do setor 1 (SD1) e setor 2 (SD2). Os meses seguintes o setor 1 ficou representada pela área com presença de cobertura morta (PCM) e setor 2 pela ausência de cobertura morta (ACM). Em outubro/17 houve a necessidade de realizar a poda da moringa. As amostras coletadas foram em duas profundidades em 36 amostras de cada setor, totalizando 216 amostras por campanha.

As desramas artificiais das moringas foram realizadas após a primeira florada deixando-a com 150 cm, conforme as recomendações Jesus et al. (2013).

O espaçamento entre planta e fileira de 3 x 3 m foi baseado nas recomendações Silva et al. (2018), onde o espaçamento deve-se levar em conta o modelo de exploração do plantio.

A aplicação da adubação orgânica (esterco caprino) foi com quantidade de 15 t.ha⁻¹ conforme Bakke et al. (2010). Cada cova com área de 0,25 m² recebeu 0,375 kg, totalizando 13,5 kg para ambos os setores.

A área PCM recebeu pó de coco como cobertura, cuja densidade é de 8 t.ha⁻¹, conforme Montenegro et al. (2013). Foi necessário aplicar 1,231 kg de pó de coco por planta totalizando em área circular de 1,53 m², totalizando 44,31 kg de pó de coco, para satisfazer a densidade que se é requerida, e havendo a reaplicação da cobertura morta a cada 3 meses.

A Mata ciliar (MC) utilizou uma malha regular (Figura 3) com área de 225 m² (15 x 15 m), espaçamento entre amostras 3 x 3 m, predominância da vegetação Algaroba (*Prosopis juliflora*). A distância do experimento II é aproximadamente 300 m.

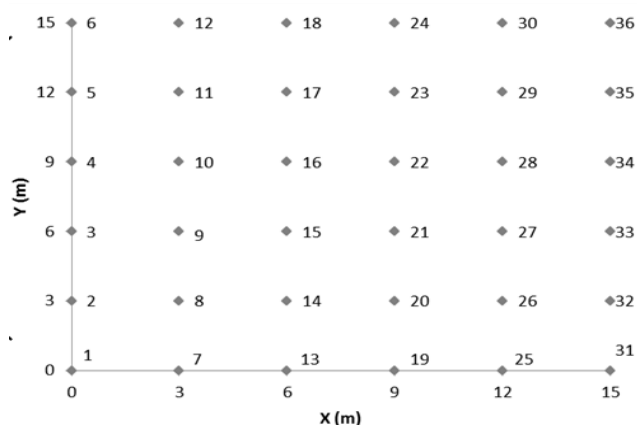


Figura 3. Malha regular experimento II.

4.3. PREPARO DAS ÁREAS E MANEJO DA IRRIGAÇÃO

4.3.1. Preparo das áreas

O preparo das áreas experimentais consistiu na operação de aração e gradagem mecanizada. Todo o plantio teve covas padronizadas (0,50 x 0,50 x 0,50 m).

A água utilizada na irrigação da área em ambos os experimentos, com exceção da mata ciliar, foi captada de poço tipo Amazonas, e classificada como moderadamente salina ($CE = 2,8 \text{ dS.m}^{-1}$) (CARVALHO et al., 2011; BASTOS et al., 2009). Portanto, para o manejo da irrigação foi adotada uma fração de lixiviação de 20% e no cálculo do tempo de aplicação das lâminas requeridas, foi considerado o resultado do teste do sistema de irrigação, particularmente quanto à eficiência de aplicação e evaporação diária do Tanque Classe “A”. A lamina requerida foi aplicado diariamente no experimento I e II, com a finalidade de manter a cova da planta úmida. Logo, aplicou-se em maio/17 lamina média de 3,18 mm em outubro/17 aplicou-se 3,12 mm, janeiro/18 aplicou-se 2,78 mm, e julho aplicou-se 2,61 mm diariamente.

4.3.2. Sistema de Irrigação

O método de irrigação foi adotado do sistema de gotejamento compreendendo uma linha lateral por fileira de plantio e 2 gotejadores por planta. A vazão unitária do emissor especificado pelo fabricante é de 4 L h^{-1} . As linhas laterais foram constituídas de tubos de polietileno de 18 mm de diâmetro externo, e 16 mm de diâmetro interno, com espaçamento de 3 m entre linhas laterais e 1,5 m entre gotejadores.

4.3.3. Manejo de Irrigação

A lâmina de irrigação adotada foi baseada na evapotranspiração da cultura (ET_c), onde foi estimada a partir de leituras diárias em Tanque Classe A, de acordo com as Equação 1, 2 e 3, utilizando-se coeficiente de tanque (K_p) igual a 0,75 de acordo com condições locais de vento, umidade relativa e bordadura, e coeficientes de cultura (K_c), segundo Doorenbos e Kassan (1986). O coeficiente de localização (K_l) de acordo com

Fereres (1981) que tem sido recomendado para culturas com maiores espaçamentos (menos adensados).

$$ET_c = ET_0 * K_c * Kl \quad (1)$$

em que,

ET_c = Evapotranspiração da cultura, mm;

ET₀ = Evapotranspiração de referência, mm;

K_c = Coeficiente de cultivo;

K_l = coeficiente de localização.

Sendo,

$$ET_0 = ECA * K_p \quad (2)$$

em que,

K_p = Coeficiente de tanque.

Sendo,

$$ECA = (L_{ant} - L_{atu}) + P \quad (3)$$

em que,

ECA = Evaporação diária do Tanque Classe “A”, mm;

L_{ant} = Leitura anterior da régua instalada no tanque, mm;

L_{atu} = Leitura atual da régua instalada no tanque, mm;

P = Precipitação, mm.

Os valores de K_c, para atender as necessidades hídricas nos diferentes estágios de desenvolvimento das plantas *Moringa*, de acordo com Santos et al. (2017), estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Coeficiente de cultura (K_c) da *Moringa oleífera* Lam. Santos et al. (2017).

Fases	Fase I (Pré-floração)	Fase II (Floração)	Fase III (Frutificação)
K _c	0,73	1,63	1,61

O tempo de irrigação ao longo do ciclo de cultivo foi obtido a partir da vazão média dos gotejadores, do espaçamento entre emissores e entre linhas de plantio, conforme a Equação 4.

$$T_i = \left[\frac{\left(\frac{ET_c}{E_i} + Fl \right) \times S_e \times S_l}{q} \right] \times 60 \quad (4)$$

em que:

T_i = tempo de irrigação para cada tratamento, min;

ET_c = lâmina de irrigação a ser aplicada em cada tratamento, mm;

E_a = eficiência de irrigação;

Fl = Fator de lixiviação (20% ET_c/E_i);

S_p = espaçamento entre emissores, m;

S_l = espaçamento entre linhas de planta, m;

q = vazão média do gotejador, $L h^{-1}$.

A determinação da uniformidade de distribuição de água foi baseada na metodologia de Keller e Karmeli (1974), onde consiste na coleta de dados em dezesseis emissores distribuídos em quatro linhas laterais, ou seja, a primeira lateral, a situada a 1/3 da origem, a situada a 2/3 da origem e a última. Em cada uma das laterais, foram selecionados quatro emissores, adotando-se o mesmo critério (o primeiro o situada a 1/3 a 2/3 e o último), com auxílio de um cronômetro e coletores. Para determinação da vazão de cada gotejador a água foi coletado através de um pluviômetro e, em seguida, colocado em uma proveta graduada de 1.000 ml. O tempo de duração para cada coleta foi suficiente para se coletar volume superior a 200 ml, valor mínimo recomendado pela ABNT (1987). Os volumes coletados foram convertidos em vazões ($L h^{-1}$) cujo resultado foi à média de três repetições.

Com os valores encontrados foram determinadas as variações médias de vazão ao longo das linhas laterais conforme a equação 5.

$$\Delta Q = \frac{Q_{max} - Q_{min}}{Q_{max}} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

ΔQ = variação de vazão na lateral, %;

$Q_{\text{máx}}$ = valor máximo de vazão, $L h^{-1}$;

$Q_{\text{mín}}$ = valor mínimo de vazão, $L h^{-1}$;

A partir dos resultados de vazões encontrados foram determinado o coeficiente de uniformidade de distribuição de irrigação (equação 6) e a eficiência de aplicação (equação 7) através da equação proposta por Merriam & Keller (1978):

$$CUD = 100 \times \left(\frac{q_{25\%}}{q_{\text{med}}} \right) \quad (6)$$

Em que:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, (%)

$q_{25\%}$ = média de 25% do total de microaspersores com as menores vazões ($L h^{-1}$)

q_{med} = média das vazões coletadas de todos os microaspersores ($L h^{-1}$).

$$EA = 0,9 \times CUD \quad (7)$$

Em que:

EA = eficiência de aplicação, (%).

Os testes realizados indicaram adequada uniformidade (classificado como “bom”), com coeficiente de uniformidade CUC de 93%, EA de 79%, e o CUD superior a 87% (88,1%).

4.4. DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados meteorológicos do local foram obtidos a partir de uma estação automática agrometeorológica modelo Campbell Scientific GSW100, provida de sensores e acessórios necessários para determinação da evapotranspiração de referência (ET_o). Os registros dos dados foram referentes ao período de novembro de 2016 a julho de 2018.

Utilizou-se o método Penman-Monteith para se estimar a ETo do local (equação-1). De acordo com Allen et al. (1998) o método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO é considerado um método padrão para se estimar a ETo, em que:

$$E_{To} = \frac{0,4080\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} v_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34.v_2)} \quad (8)$$

em que:

ETo = evapotranspiração de referência, em mm dia⁻¹;

R_n = radiação líquida total do gramado em MJ m⁻² dia⁻¹;

G = densidade do fluxo de calor no solo em MJ m⁻² dia⁻¹;

T_{med} = temperatura média diária do ar em °C;

v₂ = velocidade do vento média diária a 2 m de altura em m s⁻¹;

e_s = pressão de saturação de vapor em kPa;

e_a = pressão parcial de vapor, kPa;

Δ = declividade da curva de pressão de vapor em kPa °C⁻¹;

γ = coeficiente psicrométrico, kPa °C⁻¹.

A distribuição da precipitação ocorrida ao longo do experimento, entre os meses de novembro/2016 a julho/2018 está representada na Figura 4. Observa-se que os maiores índices pluviométricos concentraram-se nos meses fevereiro 17/18 e abril 17/18, na ordem de 72,4 / 66,3 mm e 158,2 / 73,4 mm, respectivamente. Durante o experimento a precipitação acumulada registrada foi de 627,9 mm. O mês de maio/17 (18 mm) e Janeiro/18 (33,27 mm) apresentaram maiores precipitação acumuladas no período do experimento, enquanto que o mês de outubro (5,27 mm.d⁻¹) e novembro (5,15 mm.d⁻¹) apresentou elevada evapotranspiração. A temperatura do ar média local apresentou maior elevação no mês dezembro/16 (29,5°C) e menor temperatura média no mês de outubro/17 (22,7 °C).

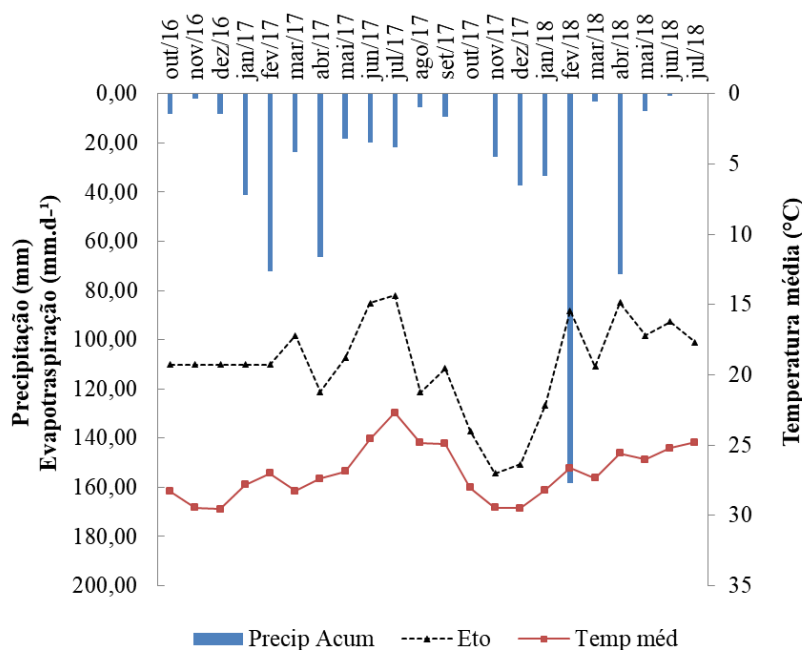


Figura 4. Valores de precipitação (mm); temperatura (°C) e evapotranspiração (mm/dia) do local de estudo, no período de out/16 a set/18.

4.5. PARÂMETROS AVALIADOS

A caracterização das áreas experimentais foi realizada com amostras coletadas antes do plantio da moringa, e os dados monitorados foram considerados os antes e após o transplante da Moringa.

Para ambos os experimentos foram realizados monitoramentos e análises das variáveis do solo: teor de carbono, umidade, respiração microbiana do solo e condutividade elétrica. Os parâmetros da planta adotados foram: biometria (altura de planta e diâmetro caulinar)'

No experimento I, houve o monitoramento da temperatura do solo e planta, além da análise de nematofauna do solo.

Os parâmetros avaliados na água foram: condutividade elétrica (CE), sódio (Na), potássio (K). As análises foram realizadas durante o período de estudo da área.

4.5.1. Parâmetros da cultura

Para estimar os efeitos da aplicação da cobertura do solo na cultura da Moringa oleífera, foram avaliadas as seguintes variáveis: altura de planta (AP) e diâmetro caulinar (DC), através de análise do crescimento não destrutiva. Segundo Benincasa (2003), a altura de planta corresponde à distância entre a base do caule ou colo e o ápice do mesmo; em plantas intactas se considera a superfície do solo como o limite inferior do comprimento. O diâmetro caulinar (mm) foi determinado no colo da planta a uma altura aproximada de 15 cm, utilizando-se um paquímetro de leitura digital.

4.5.2. Caracterização dos parâmetros físicos e químicos do solo

As análises químicas do solo para caracterização do mesmo foram provenientes de amostras composta, obtidas nos locais de estudo, coletadas antes do plantio na primeira camada superficial de 0,0 - 0,20 m, e analisados em suas características químicas, realizado pelo Laboratório de Química Ambiental de Solos, Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, de acordo com os métodos descritos no manual de métodos de análise de solo (EMBRAPA, 2011), cujos resultados iniciais se encontram na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização química das áreas do experimento no Campus Avançado da UFRPE, Município de Parnamirim-PE.

Amostra	pH (água) 1:2,5	Ca	Mg	Al	Na	K	P	C.O.	M.O.	H+Al
		cmol _c .dm ⁻³					mg.dm ⁻³	g.kg ⁻¹		cmol _c .dm ⁻³
PCM	6,8	15,5	7,0	0,20	0,71	0,67	203	5,94	10,24	3,11
ACM	6,7	15,70	7,8	0,15	1,36	0,54	187	7,50	12,93	3,31
MC	5,2	23,40	2,8	0,10	2,04	0,44	80	15,37	26,49	4,43

PCM = Presença de cobertura morta; ACM = Ausência de cobertura morta; MC = Mata Ciliar; pH = potencial Hidrogeniônico; Ca= Cálcio; Mg= Magnésio; Al = Alumínio; Na= Sódio; K = Potássio; P = Fósforo; C.O.= Carbono Orgânico; M.O. = Matéria Orgânica; H+Al = Acidez Potencial.

Para determinação das análises físicas do solo (granulométrica e densidade), as amostras foram coletadas antes do plantio, em 36 pontos de cada parcela, com malha retangular de 3 m x 3 m, em duas camadas de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m, totalizando 288 amostras. As determinações físicas foram realizadas no Laboratório de Água e Solo (LAS) do Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI) da Universidade Federal

Rural Pernambuco (UFRPE), de acordo com os métodos descritos no manual de métodos de análise de solo (EMBRAPA, 2011), cujos resultados se encontram na Tabela 3.

O solo das áreas é classificado como de textura Argilo siltoso (Tabela 3), conforme o triângulo americano de classificação textural (LEMOS & SANTOS, 1996).

Tabela 3. Caracterização física das áreas do experimento no Campus Avançado da UFRPE, Município de Parnamirim-PE. Argila, Areia e Silte, em g/kg; Densidade de partículas (Dp), em g cm^{-3} ; Densidade do solo (DS), em g cm^{-3} .

	DS (g/cm^3)	Dp (g/cm^3)	Areia (g/kg)	Argila (g/kg)	Silte (g/kg)	Classificação
PCM ₍₀₋₂₀₎	1,44	2,32	178,00	288,73	533,28	Franco Argilo Siltosa
ACM ₍₀₋₂₀₎	1,51	2,31	156,00	268,73	575,33	Franco Argilo Siltosa
MC ₍₀₋₂₀₎	1,60	2,39	289,02	228,73	482,25	Franco Argilosa
PCM ₍₂₀₋₄₀₎	1,60	2,42	173,21	365,69	461,1	Franco Argilo Siltosa
ACM ₍₂₀₋₄₀₎	1,55	2,43	151,11	345,78	503,10	Franco Argilo Siltosa
MC ₍₂₀₋₄₀₎	1,62	2,38	262,00	300,40	437,60	Franco Argilosa

PCM = Presença de cobertura morta; ACM = Ausência de cobertura morta; MC = Mata Ciliar.

4.5.3. Parâmetros avaliados na água

As variáveis estudadas foram: pH, condutividade elétrica (CE), sódio (Na^+), potássio (K^+). As análises foram efetuadas seguindo a metodologia proposta pelo Standard Methods (APHA, 1998).

O monitoramento da água utilizada na irrigação da área em ambos os experimentos com, exceção da mata ciliar, foi captada de poço tipo Amazonas, e apresentou condutividade elétrica (CE) média $2,8 \text{ dS.m}^{-1}$ com maior teor no mês de novembro/16 ($3,16 \text{ dS.m}^{-1}$) e menor no mês abril/17 ($2,71 \text{ dS.m}^{-1}$) (Figura 5).

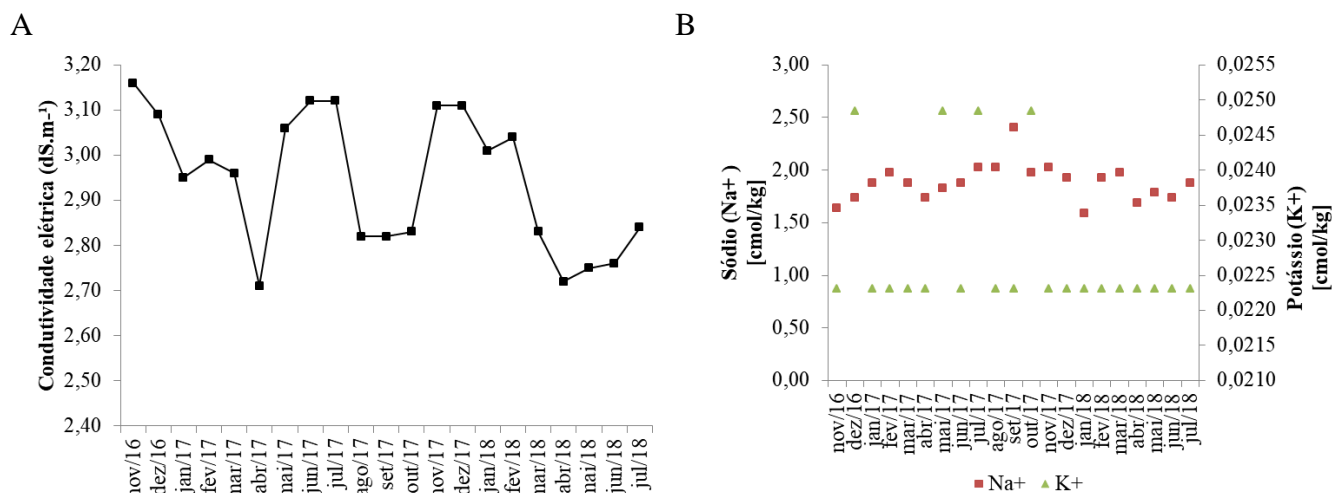


Figura 5. Valores de precipitação (mm); temperatura (°C) Condutividade elétrica (dS.m⁻¹) do local de estudo, no período de nov/16 a jul/18 (A); Teores de sódio e potássio na água (B).

4.5.4. Monitoramento do Carbono Orgânico do solo

O carbono orgânico (CO) do solo foi monitorado na camada de 0,0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m, em 5 campanhas, sendo a primeira campanha antes do transplântio.

O total de carbono orgânico no solo foi determinado pela oxidação do carbono orgânico com dicromato de potássio em meio ácido, utilizando uma fonte externa de calor e posterior titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,2 mol L⁻¹ (YEOMANS e BREMNER, 1988).

A determinação do teor de carbono orgânico no pó de coco foi baseado na metodologia de Bezerra Neto e Barreto (2011), na qual se baseia na oxidação da matéria orgânica em presença de ácido sulfúrico e dicromato de potássio, e posterior dosagem, por titulação do excesso de dicromato, com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal. O pó de coco apresentou 12% de carbono (21,62 mg C em 200 mg de amostra) de carbono na matéria seca.

O estoque de COT no solo foi calculado por dois procedimentos: pela camada equivalente do solo, e pela massa equivalente de solo. O cálculo dos estoques baseado em camada equivalentes de solo é expressa na seguinte equação 9 (Ellert e Bettanny 1995).

$$M_{\text{carbono}} = \text{concentração} \times \rho_{\text{solo}} \times E \times 10000 \text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \times 0,001 \text{Mg} \cdot \text{kg}^{-1} \quad (9)$$

Em que:

M_{carbono} = massa de C por unidade de área (Mg.ha⁻¹)

Concentração = concentração de C no solo (Kg. Mg⁻¹)

ρ_{solo} = densidade do solo (Mg.m⁻³)

E = espessura da camada de solo (m)

Para o cálculo do estoque de C em massa equivalente do solo foi calculada inicialmente a massa da camada da amostra de solo conforme a equação 10 em ambos os sistemas de manejos. O sistema com maior massa de solo foi utilizado como referência, e as massas das camadas de solo nesse sistema de manejo foram designadas como massa equivalente ($M_{\text{equivalente}}$). A partir dos valores da massa equivalente e da densidade do solo das respectivas camadas de cada sistema de manejo não referência foi calculado a espessura da cama do solo requerida para atingir uma massa equivalente à massa do solo no sistema de referência. A espessura das camadas foi calculada com a equação 11, adaptada por Ellert e Bettanny (1995).

$$M_{\text{carbono}} = \rho_{\text{solo}} \times T \times 10000 \text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \quad (10)$$

$$T_{\text{solo}} = (M_{\text{equivalente}} \times 0,0001 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}) / \rho_{\text{solo}} \quad (11)$$

Em que:

T_{solo} = espessura da camada de solo requerida para atingir uma massa de solo equivalente a do sistema de referência (m)

$M_{\text{equivalente}}$ = massa de solo equivalente = massa de solo no sistema referência (Mg. ha⁻¹)

ρ_{solo} = densidade do solo no sistema de manejo não referência (Mg. m⁻³)

A partir das espessuras das camadas de solo de sistemas referência e não referência, foram calculadas as massas de carbono por unidade de área (Mg. ha⁻¹) em massa equivalente de solo utilizando a equação 9.

4.5.5. Monitoramento da Umidade do Solo

A umidade (W) foi monitorada na camada de 0,0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m, também em 5 campanhas, sendo a primeira campanha antes do transplântio.

O método utilizando para determinação da umidade foi o método padrão de estufa (gravimétrico) que possui elevada precisão conforme o método da EMBRAPA (2011) e determina o teor de umidade presente na amostra de solo, transportada em embalagem impermeável e vedada. As análises foram realizadas no Laboratório de Água e Solos (LAS) do Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

4.5.6. Monitoramento da Salinidade

A condutividade elétrica (CE) foi monitorada em cada ponto de amostragem. Amostras deformadas foram coletadas nas camadas de 0,0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m, em 5 campanhas, sendo a primeira campanha antes do transplântio.

A determinação da salinidade foi através da preparação do extrato de saturação, conforme a EMBRAPA (2011), que determina os sais solúveis nos solos pela medição de cátions e ânions no extrato aquoso. A salinidade do solo foi estimada pela condutividade elétrica do extrato. As análises foram realizadas no Laboratório de Água e Solos (LAS) do Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

4.5.7. Monitoramento da Temperatura do solo e planta

A temperatura do solo ($Temp_{solo}$) foi monitorada na camada superficial do solo e a temperatura da planta ($Temp_{planta}$) medida na parte aérea, por técnica de termográfica utilizando a câmera de vídeo de infravermelho portátil. As avaliações das imagens termográficas foram realizadas na época de 332 DAT, 438 DAT e 604 DAT (dias após o transplântio).

A câmera converte a energia eletromagnética infravermelha invisível emitida pela superfície do solo e água, numa imagem térmica visível num monitor portátil (conjunto de pixels com valores de temperatura). A câmera de vídeo de infravermelhos foi

posicionada com distância de 1,0 m da superfície do solo, com direção focal perpendicular à superfície do solo, segundo a metodologia de Lima e Abrantes (2014a).

4.5.8. **Respiração do solo**

A respiração do solo (C-CO₂) foi estimada através das atividades microbianas, tal como indicado pela taxa de evolução de C-CO₂ (GRISI, 1978). Em cada ponto de amostragem foram coletadas amostras deformadas nas camadas 0,20-0,40 m, em 5 campanhas, sendo a primeira campanha antes do transplântio

As amostras de solo (100 g) foram acondicionadas em um recipiente com 10 ml de 0,5 N de KOH, sendo armazenadas em câmaras de vidro seladas e incubadas (25 ± 2 ° C) durante 15 dias. O CO₂ absorvido pela KOH foi determinado por titulação com HCl 0,1 N, utilizando como indicadores a fenolftaleína e o alaranjado de metila. As análises foram realizadas no Laboratório de Fitonematologia do Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

4.5.9. **Análises da nemafaua**

As análises de nematoides foram realizadas em cada ponto de amostragem do experimento I e foi coletadas amostras deformadas nas camadas 0,20-0,40 m, foram coletadas em 4 campanhas, sendo a primeira campanha antes do transplântio.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados, encaminhadas ao Laboratório de Fitonematologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e processadas a partir de alíquotas de 300 cm³ de solo pelo método da flotação centrífuga em solução de sacarose (JENKINS, 1964).

As suspensões de nematoides obtidas foram mantidas sob refrigeração (4-6 °C), realizando-se a identificação genérica e contagem dos espécimes em lâminas de Peters, sob microscópio óptico, em duas repetições, sendo os resultados computados em número de espécimens por 300 cm³ de solo. Os nematoides foram classificados de acordo com o hábito alimentar em cinco grupos tróficos (bacteriófagos, micófagos, onívoros, predadores e parasitas de plantas), baseando-se na morfologia do estoma e do esôfago, de acordo com Yeates et al. (1993). Os nematoides parasitas de planta foram identificados em nível de gênero, família ou ordem de acordo com Mai et al. (1996), e

os nematoides de vida livre foram identificados a nível de família conforme a chave de identificação de Tarjan et al. (1977).

4.6. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

4.6.1. Experimento I

Os dados analisados foram submetidos à análise de variância. As variâncias com diferenças significativas pelo teste F foram submetidas à análise de comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Os dados (x) relativos aos parâmetros umidade, carbono orgânico e condutividade foram transformados por raiz ($x+0,5$) e o parâmetro de respirometria microbiana do solo foi transformado por log ($x+1$), conforme Santos e Gheyi (2003). Tal transformação visou à redução dos coeficientes de variância, que estavam apresentando valores acima de 20%, e não apresentaram distribuição normal ou homogeneidade dos tratamentos. Também foram efetuados cálculos do coeficiente de correlação de Pearson.

4.6.2. Experimento II

4.6.2.1. Estatística descritiva

Com o objetivo de verificar o comportamento dos dados foi aplicada estatística descritiva, através da avaliação de medidas de tendência central (média, mediana e moda), dispersão (desvio padrão, variância e coeficiente de variação) e aderência à distribuição normal. De acordo com os valores do coeficiente de variação (CV), a variabilidade foi classificada, segundo Warrick & Nielsen (1980), em baixa ($CV \leq 12\%$); média ($12 < CV \leq 60\%$) e alta variabilidade ($CV > 60\%$).

Os dados discrepantes foram eliminados com base no critério de Hoaglin et al. (1992), que considera discrepantes aqueles dados abaixo do limite inferior (L_i) ou acima do limite superior (L_s), respectivamente, estimados pelas Equação 12 e 13:

$$L_i = Q_i - 1,5AP \quad (12)$$

$$L_s = Q_s + 1,5AP \quad (13)$$

Em que:

Li = limite inferior;

Ls = limite superior;

Qi = quartil inferior;

Qs = quartil superior;

Ap = amplitude entre o 1^a e o 3^a quartil.

4.6.2.2. Variabilidade espacial

Para a análise geoestatística do teor de carbono, da condutividade elétrica, da umidade, e respirometria microbiana. Para a modelagem do semivariograma e sua validação (pelo processo de Jack-knifing) empregou-se a ferramenta geoestatística GS+ (Robertson, 1998). A dependência espacial foi avaliada através do semivariograma clássico construído a partir da estimativa das semivariâncias, dada pela Equação 14 (JOURNEL, 1989).

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^n [Z(X_i + h) - Z(X_i)]^2 \quad (14)$$

em que:

$\hat{\gamma}(h)$ = é o valor estimado da semivariância dos dados experimentais;

$Z(x_i + h)$ e $Z(x_i)$ = são os valores observados da variável regionalizada;

$N(h)$ = o número de pares de valores medidos, separados por uma distância h (LANDIM, 2003).

De posse do semivariograma experimental o procedimento foi o ajuste dos dados a um modelo teórico e se testaram os modelos exponencial, gaussiano e esférico. Os ajustes matemáticos possibilitaram definir os seguintes parâmetros: efeito pepita (C_0), alcance da dependência espacial (A) e patamar (C_0+C_1). São apresentados, a seguir, os três modelos teóricos considerados (Equações 15, 16, 17a e 17b):

- Modelo Exponencial:

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[1 - e^{-\left(\frac{h}{A}\right)} \right] \quad h \neq 0 \quad (15)$$

- Modelo Gaussiano:

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[1 - e^{-\left(\frac{h^2}{A^2}\right)} \right] \quad h \neq 0 \quad (16)$$

- Modelo Esférico:

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[1,5 \frac{h}{A} - 0,5 \left(\frac{h}{A}\right)^3 \right] \quad 0 < h < A \quad (17a)$$

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \quad h > A \quad (17b)$$

Após a validação dos semivariogramas foi realizada a krigagem dos dados, e para confeccionar os mapas de distribuição espacial foi utilizado o software Surfer (SURFER, 2002).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. EFEITOS DAS PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS NAS RESPOSTAS BIOMETRIA DA MORINGA E NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Verificou-se que as práticas conservacionistas influenciaram positivamente os resultados do estudo.

Tabela 4 pode ser visto os valores médios das variáveis altura da planta, diâmetro caulinar e temperatura da planta. Houve influência significativa para o fator tratamento ($p < 0,05$) no parâmetro diâmetro, nos períodos 205, 332, 438 e 604 após transplântio (DAT), enquanto aos demais parâmetros analisados não houve diferença significativa. Mas aos 205 DAT as plantas com os tratamentos apresentaram altura de PAOCM (372 cm), PCM (362 cm), PAO (332 cm), TEST (288 cm), e se observou acréscimos para a altura no tratamento de PAOCM (29,17%) e PCM (25%) com relação à testemunha (plantas sem adubo e sem cobertura morta). Aos 332 DAT as plantas com os tratamentos apresentaram altura de PAOCM (454 cm), PCM (450 cm), PAO (408 cm), TEST (388 cm), e acréscimos para a altura no tratamento de PAOCM (17,01%) e PCM (15,98%) com relação à testemunha (plantas sem adubo e sem cobertura morta). Observa que ambos os períodos apresentam contribuição da cobertura morta no desenvolvimento da cultura.

Tabela 4. Análise de variância dos parâmetros da biometria da oleaginosa *Moringa oleifera* Lam. e temperatura da planta ($^{\circ}\text{C}$) sob presença dos tratamentos no período de 205, 332, 438 e 604 DAT da cultura.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Dias após Transplântio (DAT)	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	Temp _{Planta} ($^{\circ}\text{C}$)
Tratamento	3	205 DAT	338,5 ^{NS}	52,5*	-
		C.V.(%)	17,05	17,04	-
		332 DAT	425 ^{NS}	55,25*	27,91 ^{NS}
		C.V.(%)	13,29	11,74	8,02
		438 DAT	-	62,00*	35,19 ^{NS}
		C.V.(%)	-	12,11	4,49
Resíduo	16	604 DAT	-	68,45*	32,18 ^{NS}
		C.V.(%)	-	16,2	6,15

NS = não significativo; * significativo a 5 % de probabilidade pelo teste F .

Temp_{planta} = Temperatura da planta; C.V. = Coeficiente de variação.

Aplicando-se o teste Tukey para comparar as médias dos parâmetros adotados em razão dos tratamentos, constatou-se que houve efeito significativo para o tratamento com presença de cobertura morta com adubo, para os períodos 205, 332, 438 e 604 após transplântio (DAT), na varável diâmetro da *Moringa Oleifera* Lam. O tratamento com resultando assim, em influência do referido tratamento no desenvolvimento da planta (Tabela 5). Contudo, a cobertura morta pode se constituir em mais uma alternativa para os pequenos agricultores no contexto dos sistemas sustentável, visto que contribuiu para o desenvolvimento da cultura no local sob as condições do semiárido.

Tabela 5. Média do parâmetro diâmetro caulinar da oleaginosa *Moringa oleifera* Lam sob presença dos tratamentos após e 205, 332, 438 e 604 DAT.

Tratamento	Diâmetro (mm)			
	Período			
	205 DAT	332 DAT	438 DAT	604 DAT
PAOCM	61,60a	66,20a	72,00a	76,00a
PCM	52,40ab	54,00b	66,00ab	74,60a
PAO	52,20ab	53,00b	56,80b	67,20ab
Testemunha	43,80b	47,80b	53,20b	56,00b

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem entre si, a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. PAOPM = Presença de adubação orgânica e cobertura morta; PCM = Presença de cobertura morta; PAO = Presença de adubação orgânica; DAT = Dias após transplântio.

Borges et al. (2014) avaliaram os efeitos de diferentes tipos de cobertura na manutenção da umidade do solo, sob condição de chuva natural, bem como nas características agrônômicas da cultura do milho (*Zeamays* L.), e observaram que a cobertura morta favoreceu no desenvolvimento do milho, evidenciando como práticas vantajosas e economicamente viáveis em vários aspectos para a cultura do milho, principalmente em regiões em que a precipitação é baixa e irregular. Akhtar et al. (2019) estudaram os efeitos da cobertura morta (palha de trigo) e nitrogênio no crescimento, fisiologia e propriedades do solo em cultivo de soja, e observaram que a cobertura morta melhoraram significativamente o crescimento da cultura.

Na Tabela 6 pode ser visto os valores médios das variáveis. Houve influência significativa para o fator tratamento ($p < 0,05$) no parâmetro carbono orgânico do solo na camada de 0,0 – 0,20 m, nos períodos 205, 332, e 604 (DAT). Observa-se que a camada de 0,0 – 0,20 m teve maior teor de carbono orgânico do solo com relação à camada 0,20

– 0,40 m, resultado que corrobora com Batjes, (2014), que os valores de carbono orgânico nas camadas de 0 a 0,30 m são mais elevados.

Os parâmetros umidade na camada de 0,0 – 0,20 m, condutividade elétrica nas camadas 0,0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, e a temperatura do solo na camada superficial no período 438 DAT, enquanto aos demais parâmetros analisados não apresentaram diferença significativa.

Tabela 6. Análise de variância dos parâmetros físico, químico e temperatura do solo sob presença dos tratamentos no período antes do transplântio, 205, 332, 438 e 604 DAT da cultura.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Dias após Transplântio (DAT)	CO (g.kg ⁻¹) (0.0-0.2)	CO (g.kg ⁻¹) (0.2-0.4)	C-CO ₂ (mgCO ₂)	W (g. g ⁻¹) (0.0-0.2)	W (g. g ⁻¹) (0.2-0.4)	CE (dS.m ⁻¹) (0.0-0.2)	CE (dS.m ⁻¹) (0.2-0.4)	Temp _{Solo} (°C)
Tratamento	3	Antes transplântio	11,73 ^{NS}	8,54 ^{NS}	8,25 ^{NS}	0,044 ^{NS}	0,089 ^{NS}	1,94 ^{NS}	2,86 ^{NS}	-
		C.V.(%)	11,94	16,35	30,02	1,53	2,96	18,09	13,03	-
		205 DAT	12,92*	11,2 ^{NS}	4,26 ^{NS}	0,207 ^{NS}	0,147 ^{NS}	5,78 ^{NS}	4,54 ^{NS}	-
		C.V.(%)	13,21	10,91	55,31	7,32	20,63	11,13	13,35	-
		332 DAT	15,072*	11,63 ^{NS}	5,89 ^{NS}	0,112 ^{NS}	0,129 ^{NS}	4,54 ^{NS}	5,04 ^{NS}	37,98 ^{NS}
		C.V.(%)	11,13	19,02	45,89	3,25	2,47	12,53	9,61	7,64
		438 DAT	13,50 ^{NS}	10,61 ^{NS}	6,14 ^{NS}	0,1640*	0,178 ^{NS}	2,99*	3,62*	43,65*
		C.V.(%)	19,47	17,34	47,46	14,75	17,67	15,49	29,22	6,97
		604 DAT	13,613*	11,2 ^{NS}	25,09 ^{NS}	0,111 ^{NS}	0,197 ^{NS}	4,35 ^{NS}	3,03 ^{NS}	28,84 ^{NS}
		C.V.(%)	6,65	13,46	17,55	7,39	7,79	16,08	18,9	13,1
Resíduo	16									

NS = não significativo; * significativo a 5 % de probabilidade pelo teste F.

CO = Carbono orgânico do solo; C-CO₂ = Respirometria microbiana; W = Umidade do solo; CE = Condutividade elétrica do solo; Temp_{solo} = Temperatura do solo; C.V. = Coeficiente de variação.

Aplicando o teste Tukey para comparar as médias na variável carbono orgânico do solo na camada de 0,0-0,20 m em razão dos tratamentos, constatou-se que houve efeito significativo para o tratamento com presença de cobertura morta, nos períodos 205, 332 DAT e 604 DAT (Tabela 7). A cobertura morta provocou aporte no carbono orgânico no período 205 DAT (34,51%), 332 DAT (28,36%) e 604 DAT (14,15%) com relação à testemunha.

Tabela 7. Média dos parâmetros carbono orgânico do solo camada 0,0 – 0,20 m sob presença dos tratamentos nos períodos 205, 332, 604 DAT da *Moringa oleifera* Lam.

Tratamento	Carbono orgânico (g.kg ⁻¹)		
	Período		
	205 DAT	332 DAT	604 DAT
PCM	14,81a	16,93a	14.04ab
PAOCM	13,73ab	15,86ab	15,62a
PAO	12.15ab	14,31ab	12.5bc
Testemunha	11.01b	13,19b	12.3c

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem entre si, a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. PAOPM = Presença de adubação orgânica e cobertura morta; PCM = Presença de cobertura morta; PAO = Presença de adubação orgânica; DAT = Dias após transplântio.

Os resultados aqui obtidos corroboram com Qian et al. (2015), que compararam três tratamentos de cobertura: Trevo branco (*Trifolium repens* L.); Ervilhaca (*Coronilla varia* L.); Azevém perene (*Lolium perenne* L.) e tratamento sem cobertura. Os autores analisaram seus efeitos no conteúdo de nutrientes no solo, atividades enzimáticas, estrutura e diversidade da comunidade bacteriana, e mostraram que a cobertura morta aumentou os níveis de atividade do carbono orgânico total, 16-44% maiores do que sem cobertura morta. Todas as coberturas aumentaram significativamente a atividade metabólica do carbono bacteriano do solo, assim como a diversidade da comunidade bacteriana.

Segundo Sinkevičienė et al. (2009), as coberturas orgânicas são muito eficazes para melhorar a qualidade do solo e aumentar o rendimento das culturas, pois incorporam matéria orgânica no solo, o que aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, mesmo considerando que possam ocorrer aumentos também na condutividade elétrica do solo (CHEN e WEIL, 2010).

Na Tabela 8 pode ser visto o teste Tukey para comparar as médias das variáveis umidade na camada de 0,0 – 0,20 m, condutividade elétrica nas camadas 0,0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, e a temperatura do solo na camada superficial em razão dos tratamentos, constatou-se que houve efeito significativo para o tratamento com presença de adubação e cobertura morta, no período 438 DAT. O tratamento com adubo orgânico e cobertura morta com provocou o aumento da umidade (31,08%), redução na condutividade elétrica na 0,0 – 0,20 m (56,74%) e 0,20 – 0,40 m (79,37%), diminuição na temperatura

do solo (26,32%) com relação à testemunha, visto que pode ter sido influenciado pela presença da cobertura morta.

Tabela 8. Média dos parâmetros umidade na camada de 0,0 – 0,20 m, condutividade elétrica nas camadas 0,0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, e a temperatura do solo na camada superficial sob presença dos tratamentos no período 438 DAT da *Moringa oleifera* Lam.

Tratamento	Parâmetros			
	W	CE	CE	Temp _{Solo}
	(g. g ⁻¹) (0.0-0.2)	(dS.m ⁻¹) (0.0-0.2)	(dS.m ⁻¹) (0.2-0.4)	(°C)
PAOCM	0,194a	2,12b	1,63b	36,79b
PCM	0,162ab	1,64b	1,66b	37,04b
PAO	0,152ab	3,34ab	3,30ab	50,73a
Testemunha	0,148b	4,9a	7,90a	50,03a

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem entre si, a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. PAOPM = Presença de adubação orgânica e cobertura morta; PCM = Presença de cobertura morta; PAO = Presença de adubação orgânica; W = Umidade do solo; CE = Condutividade elétrica do solo; Temp_{solo} = Temperatura do solo; DAT = Dias após transplantio.

Akhtar et al. (2019) estudaram os efeitos da cobertura morta (palha de trigo) e nitrogênio no crescimento, fisiologia e propriedades do solo em cultivo de soja, e observaram que cobertura total aumentou significativamente a retenção de umidade (7,4%) e diminuiu a temperatura do solo (3,0%) na camada de solo de 0,0-0,20 m, incrementando assim a fotossíntese, área foliar, índice de área foliar, crescimento e produtividade do cultivo.

O uso de cobertura morta na agricultura proporciona muitos benefícios ao solo, reduzindo a evaporação e a temperatura, melhorando a biomassa microbiana, além de manter o balanço de carbono orgânico do solo, promove o aumento do ciclo de nutrientes e da atividade enzimática do solo, aumentando a estabilidade do agregado do solo (WANG et al., 2019). Segundo Komariah et al. (2008), a cobertura morta reduz a condução de calor na superfície do solo, diminuindo a radiação solar. Abouziena e Radwan (2015) ressaltaram que a cobertura reduz a flutuação da umidade do solo e da sua temperatura, melhorando a capacidade de retenção de umidade do solo, bem como a sua estrutura (MUTETWA E MTAITA, 2014).

A presença de cobertura morta influencia positivamente nos atributos do solo. Montenegro et al. (2013) investigaram o efeito de diferentes densidades de cobertura no escoamento e no transporte de sedimentos, adotando eventos de chuva intermitentes de

intensidade variáveis, verificando que a cobertura morta de palha as densidades de 2 e 4 t ha⁻¹ de cobertura de palha foram eficientes na redução da temperatura do solo, promovendo seu maior umedecimento. Considerando chuva natural em uma bacia do semiárido de Pernambuco, Santos et al. (2010) observaram que a cobertura morta influenciou significativamente a variação do teor de umidade do solo, tanto na estação seca quanto na chuvosa. O uso de palha de feijão de 3,2 t ha⁻¹ como cobertura morta, associado a barreiras de pedra, proporcionou altos níveis de umidade do solo e aumentou a produção de feijão.

Correlações de Pearson foram calculadas para determinar relações entre as variáveis estudadas, Observa-se na Tabela 9 que o carbono orgânico apresentou correlação positiva com o diâmetro ($r = 0,39$, $p < 0,05$), com a altura ($r = 0,61$, $p < 0,05$), e com a umidade do solo ($r = 0,21$, $p < 0,05$), enquanto que correlação negativa com a temperatura do solo ($r = 0,25$, $p < 0,05$) e com a temperatura da planta ($r = 0,34$, $p < 0,05$).

A correlação do carbono orgânico com diâmetro, altura apresentaram moderado grau de dependência estatística linear entre as variáveis, enquanto que grau de dependência estatística linear entre as variáveis a umidade do solo e planta apresentaram franco grau de dependência estatística linear entre as variáveis.

Tabela 9. Coeficientes de correlação entre as variáveis estudadas.

Variável	CE (0,0-0,2)	CE (0,2-0,4)	CO (0,0-0,2)	CO (0,2-0,4)	Diâmetro	W 0,0-0,2)	W (0,2-0,4)	C-CO ₂	Temp (Solo)
CE _(0,2-0,4)	0,61*								
CO _(0,0-0,2)	0,14	0,04							
CO _(0,2-0,4)	0,191	-0,05	0,39*						
Diametro	0,41*	0,10	0,39*	0,42*					
W _(0,0-0,2)	0,22*	0,06	0,15	0,37*	0,41*				
W _(0,2-0,4)	0,14	-0,03	0,21*	0,24*	0,54*	0,32*			
C-CO ₂	-0,02	-0,20*	0,03	-0,03	0,23*	-0,24	0,11*		
Temp _(Planta)	-0,30	0,08	-0,34*	-0,33*	-0,23	0,22	-0,23	-0,60	0,65*
Temp _(Solo)	-0,05	0,42*	-0,24	-0,16	-0,34*	0,26	-0,21	-0,66*	
Altura	0,64*	0,59*	0,61*	0,50*	0,96*	0,44*	0,5*	-0,26*	

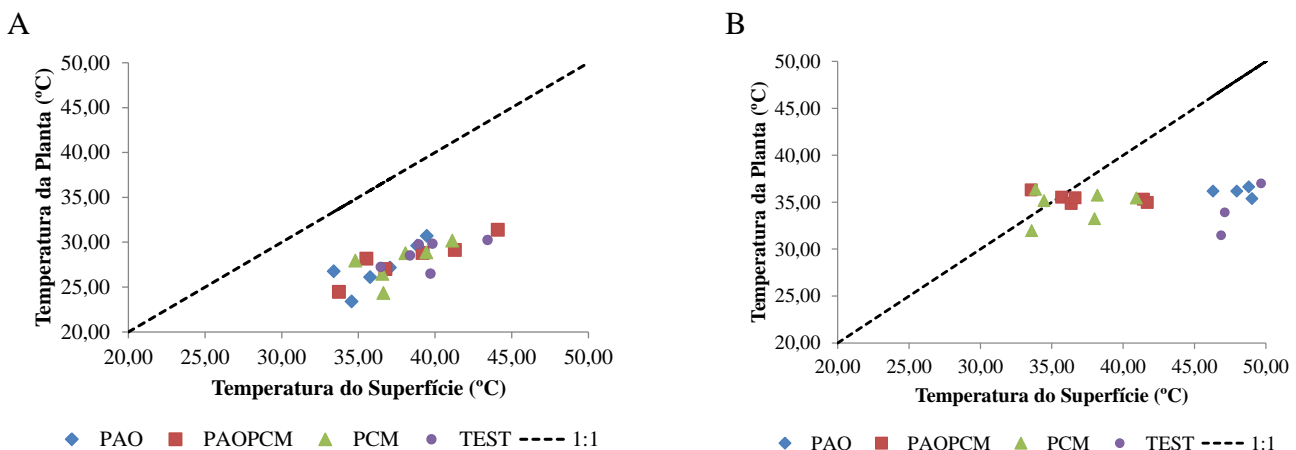
CE = Condutividade elétrica do solo; CO = Carbono orgânico do solo; W = Umidade do solo; C-CO₂ = Respirometria microbiana; Temp = Temperatura do solo; Temp = Temperatura do solo.

A Figura 6 apresenta a relação entre a temperatura da superfície do solo e da planta, avaliada através de termografia. Verifica-se que as temperaturas das plantas (folhas) foram inferiores à temperatura do solo na campanha de 332 DAT, para todos os tratamentos (adubação orgânica, pó de coco, e solo nu), não havendo diferenciação

relevante entre eles. Nota-se uma proporcionalidade entre as leituras no solo e na planta, e valores sistematicamente 7°C menores para esta última.

Para 438 DAT verifica-se elevada uniformidade da temperatura das folhas, com valores próximos a 33 °C, independentemente da temperatura do solo, que foi significativamente maior no tratamento com adubação orgânica, pois a radiação solar apresentava estar diretamente ao solo. Consta-se que a temperatura do solo foi significativamente menor no tratamento com cobertura morta de pó de coco, pela redução da radiação solar ao solo. Aos 604 DAT, verifica-se que a temperatura do solo foi superior no tratamento com adubação orgânica. Deve-se mencionar que, para este tratamento, a temperatura da folha foi significativamente menor que a do solo.

Observa-se na Figura 6, que as plantas de Moringa não apresentaram temperaturas mais altas que o solo na amostragem de 332 DAT, para todos os tratamentos, enquanto que no dia da amostragem com 604 DAT as plantas apresentaram temperaturas mais altas, acima da reta 1:1, com exceção daquelas no tratamento testemunha (ausência de pó de coco e de adubação). Tais resultados também foram afetados pelas condições climáticas no momento da medição, assim como por processos de decomposição da matéria orgânica, que exógenas, liberando calor, e assim aquecendo o solo.



C

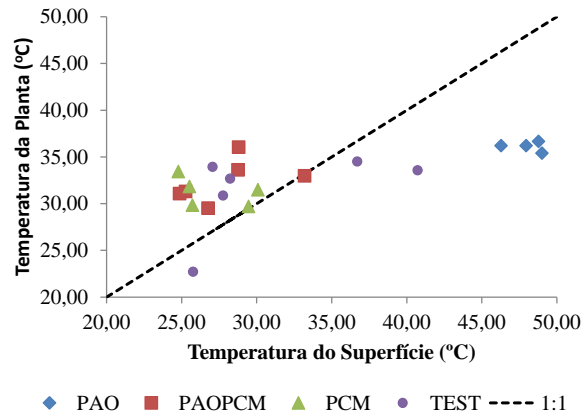
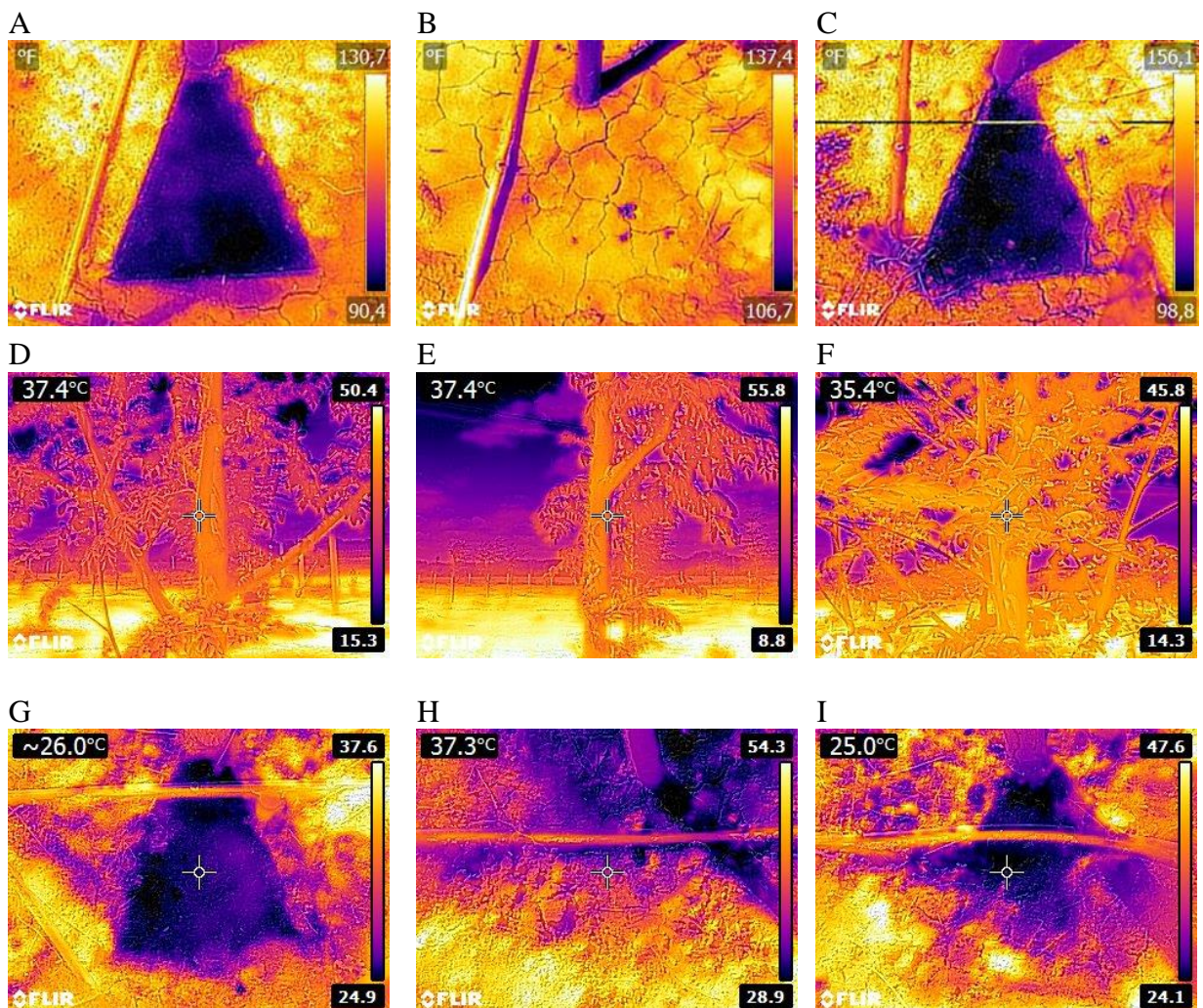


Figura 6. Relação entre temperatura (°C) da superfície e da planta, através de técnicas termográficas, 332 DAT (A); 438 DAT (B); 604 DAT (C).

A Figura 7 apresenta imagens termográficas do solo e planta, onde a cor com a tonalidade mais escura representa temperatura baixa, enquanto que a tonalidade amarela representa temperatura elevada.



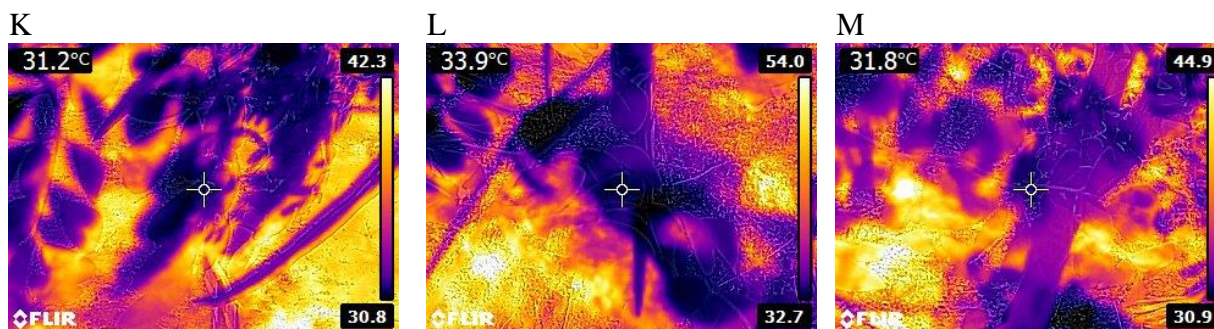


Figura 7. Imagem termográfica de solo e planta com a câmera termográfica.

Imagem termográfica do solo no período 438 DAT com tratamento presença de adubação e cobertura morta (A), testemunha (B) e presença de cobertura morta(C). Imagem termográfica da planta no período 438 DAT com tratamento presença de adubação e cobertura morta (D), testemunha (E) e presença de cobertura morta(F). Imagem termográfica do solo no período 604 DAT com tratamento presença de adubação e cobertura morta (G), testemunha (H) e presença de cobertura morta (I). Imagem termográfica da planta no período 604 DAT com tratamento presença de adubação e cobertura morta (J), testemunha (K) e presença de cobertura morta (L).

5.2. ESTOQUES DE CARBONO NO SOLO EM ÁREA DE REFERÊNCIA E EM FUNÇÃO DO MANEJO ADOTADO

Na Tabela 10 pode ser visto os valores de estoque de carbono no solo na área agrícola com plantio de *Moringa Oleifera* Lam, sob influência da cobertura morta, e na área de mata ciliar, através da metodologia de camada equivalente e massa equivalente do solo, em quatro períodos de amostragem. Nota-se que o estoque de carbono avaliado pelo método de massa equivalente apresentou uma superestimativa que variou entre 18,6 % – 52,3% com relação à camada equivalente do solo, nas quatro amostragens. Resultado semelhante foi encontrado por Bayer et al. (2003), que obtiveram 51% de acúmulo superestimado pelo método de camada equivalente, comparado com o método massa equivalente do solo.

Tabela 10. Estoque de carbono orgânico total (COT) calculado em camada equivalente de solo e em massa equivalente de solo nos sistemas.

C em camada equivalente de solo														
Sistema	E	Ds	Antes do Transplântio			205 DAT			332 DAT			438 DAT		
			CT	M	COT	CT	M	COT	CT	M	COT	CT	M	COT
PCM	0,0 - 0,20	1,51	11,29	2878,05	34,07	18,06	3017,71	54,49	26,36	3017,71	79,54	13,92	3017,71	41,99
ACM	0,0 - 0,20	1,44	10,00	3017,71	28,81	10,77	2878,05	31,01	10,97	2878,05	31,59	10,28	2878,05	29,61
MC	0,0 - 0,20	1,59	13,8	3184,09	43,88	11,81	3184,09	37,57	9,73	3184,09	30,94	7,47	3184,09	23,76
Δ ACM-MC					9,81			-6,56			0,66			5,86
Δ PCM-MC					15,07			16,92			48,60			18,24
Δ PCM-ACM					5,26			23,48			47,95			12,38
PCM	0,20 - 0,40	1,6	7,61	3195,00	24,35	11,05	3102,05	35,35	14,15	3102,05	45,27	10,77	3102,05	34,45
ACM	0,20 - 0,40	1,55	7,49	3102,05	23,25	7,05	3195,00	21,86	7,04	3195,00	21,84	8,93	3195,00	27,71
MC	0,20 - 0,40	1,62	6,99	3240,84	22,65	8,17	3240,84	26,48	9,23	3240,84	29,91	8,35	3240,84	27,05
Δ ACM-MC					1,70			-4,62			-8,07			0,66
Δ PCM-MC					0,60			8,87			15,36			7,40
Δ PCM-ACM					1,10			13,49			23,43			6,74
C em massa equivalente de solo														
Sistema	E	M _{Equiv}	E _{equiv}	Antes do Transplântio		205 DAT		332 DAT		438 DAT				
				COT		COT		COT		COT				
PCM	0,0 - 0,22	3184,09	0,21		35,95		57,49		83,92		44,31			
ACM	0,0 - 0,21	3184,09	0,22		31,85		34,28		34,93		32,74			
MC	0,0 - 0,20	3184,09	0,20		43,94		37,62		30,98		23,79			
Δ ACM-MC					7,99		-3,34		3,95		8,95			
Δ PCM-MC					12,09		19,87		52,95		20,52			
Δ PCM-ACM					4,09		23,21		48,99		11,57			
PCM	0,22 - 0,42	3240,84	0,20		24,66		35,80		45,85		34,89			
ACM	0,21 - 0,41	3240,84	0,21		24,29		22,84		22,82		28,95			
MC	0,20 - 0,40	3240,84	0,20		22,65		26,49		29,92		27,06			
Δ ACM-MC					2,01		-3,65		-7,10		1,89			
Δ PCM-MC					1,63		9,31		15,93		7,84			
Δ PCM-ACM					0,38		12,96		23,03		5,94			

Ds = Densidade do solo (Mg.m⁻³); CT = teor de carbono orgânico total (Kg.Mg⁻¹); COT= Estoque de carbono orgânico total (Mg.ha⁻¹); M_{equiv} = Massa equivalente (Mg.ha⁻¹); E_{equiv} = Espessura da camada do solo requerida (m); E= Espessura da camada do solo (m); M = Massa de solo (Mg.ha⁻¹); PCM = Presença de cobertura morta; ACM = Ausência de cobertura morta; MC = Mata ciliar; DAT = Dias após Transplântio.

O método da camada equivalente leva em consideração a espessura da camada e a densidade do solo (BAYER et al., 2000), enquanto que o método da massa equivalente de solo utiliza, como referência, a massa de solo de um tratamento, que é tomada como base (referência) para o cálculo do estoque em todos os demais tratamentos (ELLERT e BETTANY, 1995). Apenas o método da massa equivalente será discutido neste capítulo, pelo fato de apresentar maior precisão (BAYER et al., 2000).

O método da massa equivalente na camada 0,0 - 0,20 m no monitoramento do antes do transplante, quando o solo apresentava-se desnudo, sem a presença de cobertura vegetal, estimou o estoque de carbono entre 7,99 Mg.ha⁻¹ e 12,04 Mg.ha⁻¹; no monitoramento do período 205 DAT. Verificou-se acréscimo no estoque de carbono na presença de cobertura morta (19,87 Mg.ha⁻¹), enquanto que uma redução (-3,34 Mg.ha⁻¹) na ausência de cobertura. No monitoramento no período 332 DAT, estimou-se um acréscimo no estoque de carbono presença de cobertura morta (52,95 Mg.ha⁻¹), e uma redução no tratamento sem cobertura (3,95 Mg.ha⁻¹), em comparação com o estoque de carbono na mata ciliar. Verificou-se que houve diferença de 47,99 Mg.ha⁻¹ entre os tratamentos de presença e ausência de cobertura de morta (PCM e ACM).

No monitoramento do período 438 DAT houve uma diminuição no estoque de carbono para os três tratamentos utilizados (PCM, ACM, e MC) comparado com o mês de outubro/17, mas ocorreu acréscimo no estoque de carbono na presença de cobertura morta (20,52 Mg.ha⁻¹). No tratamento de ausência de cobertura morta, constatou-se uma redução (8,95 Mg.ha⁻¹) em comparação com a mata ciliar, e de 11,57 Mg.ha⁻¹ em relação ao tratamento com presença de cobertura morta. A diminuição ocorrida no estoque de carbono ao longo do período experimental também está associada a lixiviações ocorridas devido a eventos de precipitação nos dias anteriores à amostragem.

5.3. VARIABILIDADE ESPACIAL DA BIOMETRIA DA PLANTA E DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO, NA PRESENÇA E AUSÊNCIA DA COBERTURA MORTA.

5.3.1. Variabilidade espacial biometria da planta (Altura e diâmetro caulinar)

As plantas na presença de cobertura morta apresentaram o desenvolvimento maior com relação às plantas na ausência de cobertura morta (Figura 8). A cobertura morta influencia nos fatores físico e químico do solo, através da redução de perda de água no solo, incorporação de nutrientes ao solo, promovendo a melhoria e o desenvolvimento da planta. Akhtar et al. (2019) estudaram os efeitos da cobertura morta (palha de trigo) e nitrogênio no crescimento, fisiologia e propriedades do solo em cultivo de soja, constataram que o tratamento com cobertura morta (5 t.ha^{-1}) poderia ser usado para manter a produtividade do milho e promover uma melhor relação entre as enzimas do solo e as suas propriedades físico-químicas nas condições semiáridas.

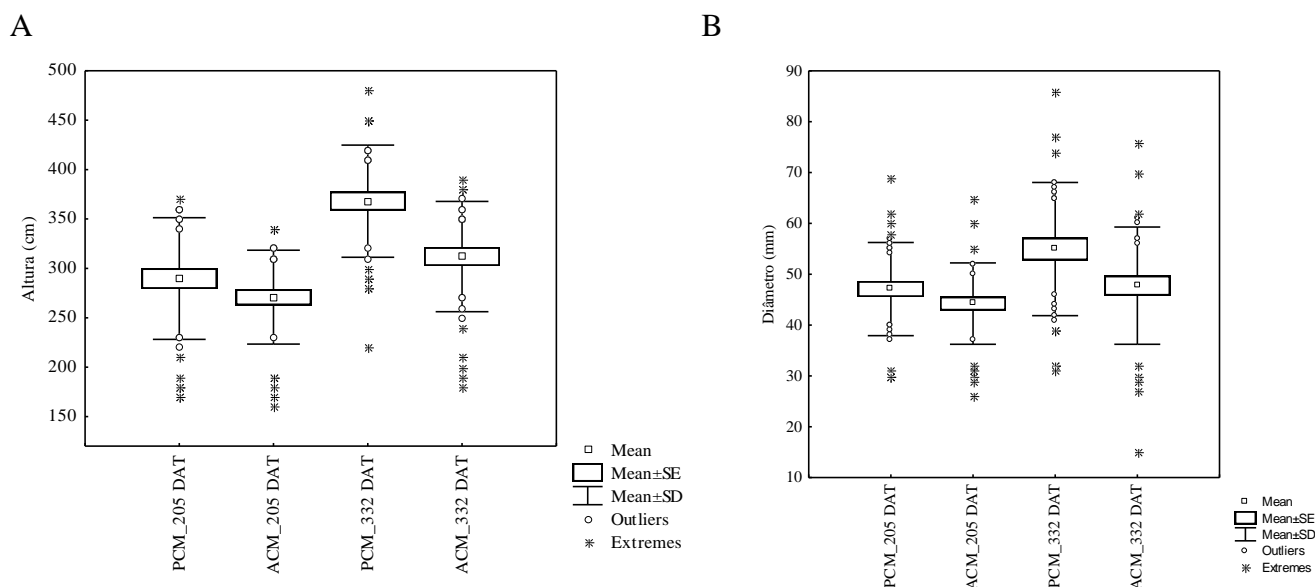


Figura 8. Box-Plot da biometria da oleaginosa *Moringa oleifera* Lam com presença e ausência de cobertura morta. Altura da planta (A); Diâmetro caulinar (B).

Os valores correspondentes da biometria da planta (altura da planta e diâmetro caulinar) foram submetidos à análise da estatística descritiva. Os resultados das medidas estatísticas descritivas utilizadas para descrever as distribuições dos dados medidos da altura da planta e diâmetro caulinar nos tratamentos com presença de cobertura morta

(PCM) ausência de cobertura morta e mata ciliar (MC) nas épocas de amostragens (205 DAT, 332 DAT).

A diferença entre os valores médio e mediano não é acentuada. A média é aproximadamente 5,8 % maior que a mediana, indicando que os valores apresentam distribuição simetricamente em torno da média e mediana.

A amplitude de variação dos dados é elevada, evidenciando uma extensa atividade microbiana do solo. Observa-se que o valor máximo da altura da planta e diâmetro caulinar do solo chega a ser até 2,8 vezes maiores que o valor mínimo, verificado no tratamento PCM na época de amostragem 332 DAT para o diâmetro caulinar. Os dados apresentam desvio padrão relativamente baixo comparado com as respectivas médias, reflexo da baixa dispersão dos valores com relação à média.

Os dados observados no coeficiente de assimetria (A_s) para altura da planta e diâmetro caulinar do solo apresentaram valores $A_s < 0$ indicando existência de distribuição assimétrica negativa para altura da planta e diâmetro caulinar do solo na, respectivamente, no período de 205 DAT (PCM (-0,65;), ACM (-0,81; -0,03)), 332 DAT (PCM (-0,4;), ACM (-0,96; -0,35)) com exceção do diâmetro caulinar com tratamento PCM no período de 205 DAT (0,23) e 332 DAT (0,06). O valor com tendência a zero e positivo do coeficiente de assimetria nos dados da altura da planta e diâmetro caulinar do solo evidencia que a distribuição é simétrica.

A altura da planta e diâmetro caulinar, respectivamente apresentaram seguintes resultados para coeficiente de variação (C.V.) no período de 205 DAT (PCM (21,25 %; 19,36 %), ACM (17,54 %; 18,1 %)), 332 DAT (PCM (15,42 %; 23,85 %), ACM (17,89 %; 24,17 %)). Os CVs apresentaram valores médios de variabilidade para os tratamentos (PCM, ACM) nas épocas de amostragens (antes do transplântio, 205 DAT, 332 DAT), segundo os critérios de Warrick e Nielsen (1980), indicando que o conjunto de dados é moderadamente homogêneo.

Os dados de altura da planta e diâmetro caulinar do solo foram submetidos à distribuição normal (0,23) pelo teste de KS (Kolmogorov – Smirnov) ao nível de 5% de probabilidade e D_n (máximo erro) da altura da planta e diâmetro caulinar, respectivamente, no período de 205 DAT (PCM (0,15; 0,15), ACM (0,12; 0,15)), 332 DAT (PCM (0,10; 0,08), ACM (0,16; 0,16)). Logo, os resultados de normalidade confirmam que os dados são normalmente distribuídos, para proceder à análise de dependência espacial é necessário que os dados apresentem distribuição normal.

Santos et al. (2016), com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes fontes de adubação, e da cobertura morta, na produtividade, componentes de produção do repolho Midore e na umidade do solo em região semiárida do Estado de Pernambuco, observaram que a cobertura morta de 9 t ha⁻¹ com adoção de turno de rega diário, influenciou significativamente a umidade do solo ao longo do tempo.

5.3.2. Variabilidade espacial parâmetros físicos e químicos do solo

O “Box plot” apresentado permite verificar a simetria das distribuições dos dados, em relação à média (Figura 9). Os teores de carbono orgânico (CO) do solo foram superiores no tratamento com presença de cobertura morta (PCM) do que no tratamento com ausência de cobertura morta (ACM), e mata ciliar (MC). Destacando a influencia da cobertura morta no acumulo de carbono orgânico no solo, devido à interferência da matéria orgânica contida na cobertura morta.

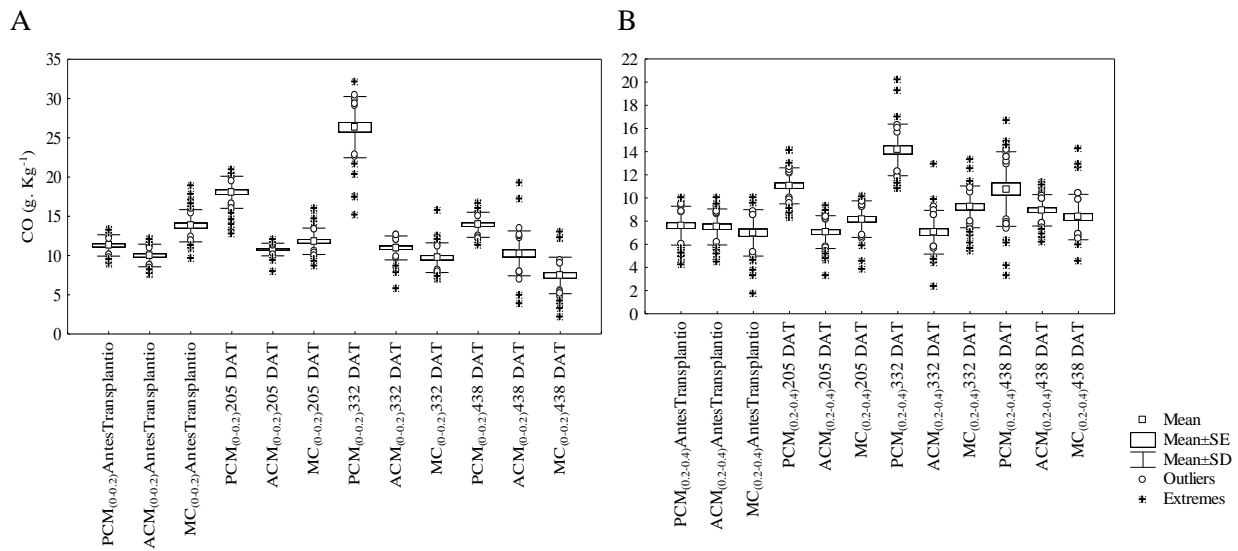


Figura 9. Box-Plot da biometria da oleaginosa *Moringa oleifera* Lam com presença e ausência de cobertura morta. Altura da planta (cm) (A); Diâmetro caulinar (mm) (B).

Qian et al. (2015) mostraram que a cobertura morta aumentou os níveis de atividade do carbono orgânico total (COT), em uma província de Shaanxi, China, que possui clima tropical semiúmido (Aw / As correspondem à classificação de Köppen-Geiger) tipo de solo com textura argiloso e precipitação média anual de 620 mm.

Assim, as práticas conservacionistas aumentam os estoques de carbono orgânico do solo, principalmente quando acompanhadas de alto aporte de biomassa (NADEU et al., 2015, SÁ et al., 2014 e 2015).

Observa-se que a mata ciliar não apresentaram elevada variação, por motivo da de deposição das folhas e fatores climáticos do local no período da amostragem. Logo, em solo com vegetação natural, o carbono encontra-se estável (BORTOLON et al., 2009), pois as saídas de carbono do solo são devidas à mineralização da matéria orgânica, que são equilibradas pela deposição de folhas que ocorre naturalmente na superfície do solo. O processo de equilíbrio dinâmico do carbono no solo acontece pela decomposição dessas folhas pelos microrganismos do solo que produzem substâncias orgânicas as quais são incorporadas no solo pela água da chuva, fazendo com que o estoque de carbono do solo seja restabelecido naturalmente (CERRI et al., 2017).

Área de vegetação nativa, sistemas de plantio direto, e cultivos perenes, onde não possui revolvimento da camada arável do solo, a deposição de resíduos acontece na superfície, logo muitos atributos do solo são submetidos à estratificação em profundidade, com maior acúmulo na camada superficial (FRANZLUEBBERS et al., 2007).

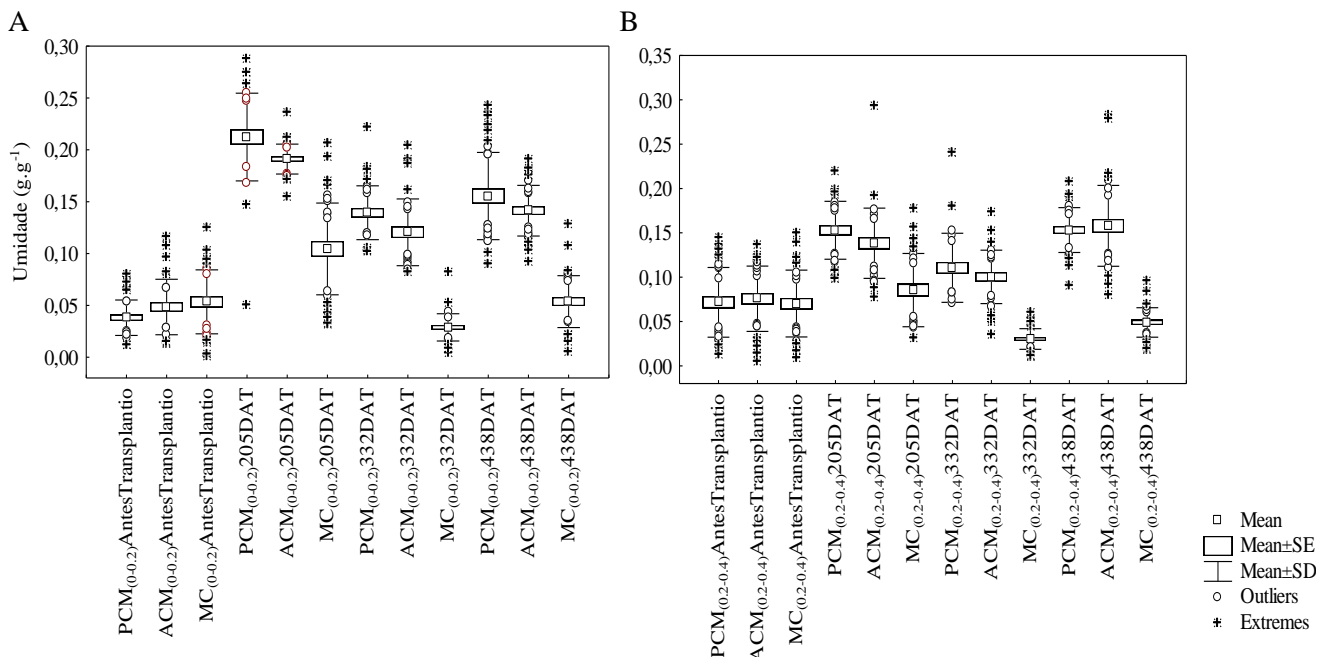


Figura 10. Box-Plot da variável umidade do solo (g. g⁻¹) com presença, ausência de cobertura morta, e mata ciliar. Camada 0,0 - 0,20 m (A); Camada 0,20 - 0,40 m (B).

Com relação à umidade do solo, nota-se que as leituras realizadas no tratamento PCM proporcionaram um acréscimo na umidade do solo nas camadas analisadas com relação ao tratamento ACM, demonstrando assim, que a cobertura morta diminui a perda de água para o ambiente, e armazenando-a no solo (Figura 10). A mata ciliar permanece com variação baixa ao longo de tempo, efeito este que pôde ser influenciada pela vegetação nativa. Pode-se observar que os dados possui presença de valores discrepantes nos dados referentes ao tratamento com presença e ausência de cobertura morta no solo, além da mata ciliar.

Santos et al. (2016), com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes fontes de adubação, e da cobertura morta, na produtividade, componentes de produção do repolho Midore e na umidade do solo em região semiárida do Estado de Pernambuco, observaram que a cobertura morta de 9 t ha⁻¹ com adoção de turno de rega diário, influenciou significativamente a umidade do solo ao longo do tempo.

A aplicação de cobertura morta e consórcio de culturas reduziram significativamente as perdas de solo e água, podendo ser utilizada pelos agricultores como técnica de conservação do solo e água (LIMA et al., 2015).

De acordo com Zhao et al. (2014), os tratamentos com cobertura do solo acumulam maior umidade do solo em comparação com o solo nu (sem cobertura morta). Segundo Abouziena e Radwan (2015), a cobertura pode reduzir a flutuação da umidade do solo e a temperatura do solo, e melhora a sua capacidade de retenção de umidade, bem como a estrutura do solo, e suprime o crescimento de plantas daninhas (MUTETWA E MTAITA, 2014).

As leituras da atividade microbiana realizadas no tratamento com presença de cobertura morta tenderam a ser superiores às leituras realizadas no tratamento com ausência de cobertura morta, demonstrando a eficiência da prática conservacionista no manejo do solo (Figura 11). Portanto a utilização da cobertura morta contribui para a manutenção de resíduo de cultura no solo, onde se podendo minimizar as perturbações no solo.

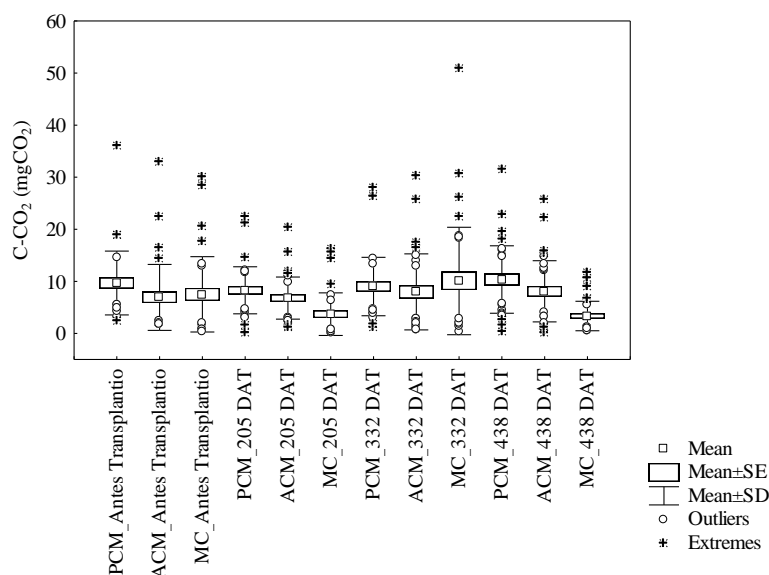


Figura 11. Box-Plot da atividade microbiana do solo (mgCO₂) na presença, ausência de cobertura morta e mata ciliar.

Moura et al. (2015) avaliaram a atividade microbiana, através da respiração basal e as taxas de estratificação em solo tratado com resíduos orgânicos e cultivado com citros, no Estado de Sergipe, e concluíram que a relação de estratificação mostrou-se eficaz ao avaliar a influência das diferentes práticas de manejo entre as profundidades evidenciando a melhoria da atividade microbiana pelas práticas conservacionistas.

A aplicação de variados tipos de resíduos no solo, com quantidades diferentes pode alterar o comportamento da microbiota, estimulando ou inibindo a sua atividade, principalmente, em relação aos processos de transformação da matéria orgânica e à ciclagem de nutrientes e às interações de troca com a maioria das espécies de plantas, especialmente as de importância agrícola (ZATORRE, 2008).

A respiração basal alta é um indicativo, em curto prazo, da maior liberação de nutrientes para as plantas, e em curto ou longo prazo, a perda de carbono orgânico do solo para a atmosfera (PARKIN et al., 1996). Portanto, faz-se necessário que a intensidade deste processo seja coordenada com as necessidades fisiológicas das plantas, o que diminuiria as perdas no solo.

Com relação à condutividade elétrica (CE) do solo, em média, aumentaram no decorrer do experimento, particularmente para a camada de 0,0 – 0,20 m (Figura 12), a área com cobertura morta apresentou elevada CE no período 332 DAT, podendo está relacionado à influência da cobertura de pó de coco na retenção de sais no processo da água de irrigação e no aumento da quantidade de água do solo conforme verificado na

Figura 10. Para esta camada, os valores foram em geral superiores aos encontrados para a camada 0,20 - 0,40 m, com ocorrência de outliers.

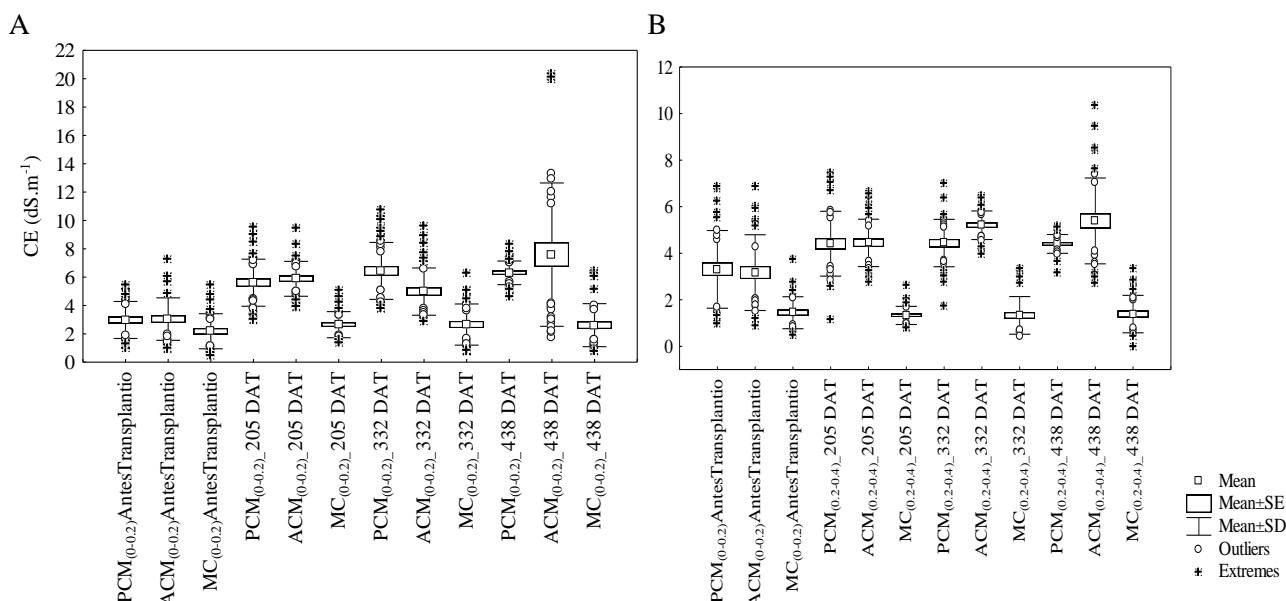


Figura 12. Box-Plot da condutividade elétrica do solo (dS.m^{-1}) com presença, ausência de cobertura morta e mata ciliar. Camada 0,0 - 0,20m (A); Camada 0,20-0,40m (B).

Segundo Assis (2018), com objetivo de avaliar a influência da cobertura de pó de coco no transporte de solutos em solos irrigados com efluentes domésticos tratados, dispostos em colunas, observou que ocorreu menor curva de eluição nas coberturas de pó de coco e no qual pode estar relacionado à influência da cobertura de pó de coco na retenção do íon sódio.

Os valores correspondentes ao carbono orgânico, umidade, atividade microbiana e condutividade elétrica do solo foram submetidos à análise da estatística descritiva. Os resultados foram utilizados para descrever as distribuições dos dados medidos das variáveis nos tratamentos com presença de cobertura morta (PCM) ausência de cobertura morta e mata ciliar (MC) nas épocas de amostragens (antes do transplântio, 205 DAT, 332 DAT, 438 DAT).

A diferença entre os valores médio e mediano não foram acentuadas. Os resultados obtidos mostraram que a mediana foi menor que a média para no carbono orgânico (5,9%), umidade (3,21%), condutividade (6,2%) e atividade microbiana (20,8%), indicando que os valores apresentam distribuição simetricamente em torno da média e mediana.

A amplitude de variação dos dados é elevada, quando comparada com a dos respectivos valores de média e mediana, evidenciando possível aumento de aporte do carbono orgânico do solo, aumento da umidade do solo, uma extensa atividade microbiana do solo, aumento da condutividade elétrica na área de estudo.

Observa-se que o valor máximo do carbono orgânico do solo chega a ser aproximadamente 6,0 vezes maior que o valor mínimo, verificado no tratamento MC na época de amostragem antes do transplântio e 438 DAT. A umidade do solo o valor máximo da umidade do solo chega a ser até 103,9 vezes maior que o valor mínimo, verificado no tratamento MC na época de amostragem antes do transplântio, e 5,8 vezes maior que o valor mínimo para PCM na época de amostragem 332 DAT. Atividade microbiana apresentou valor máximo chegando a ser até 280 vezes maior que o valor mínimo, verificado no tratamento PCM na época de amostragem 205 DAT e 134, 32 vezes maior que o valor mínimo para mata ciliar na época de amostragem 332 DAT. A condutividade elétrica apresentou valor máximo aproximando até 11,76 vezes maior que o valor mínimo, verificado no tratamento ACM na época de amostragem 438 DAT, e 1,8 vezes maior que o valor mínimo para PCM na época de amostragem 438 DAT.

Os dados apresentam desvio padrão foram relativamente alto comparado com as respectivas médias, reflexo da alta dispersão dos valores com relação à média para o variável carbono orgânico do solo, umidade do solo, atividade microbiana do solo, com exceção da condutividade elétrica que apresentam desvio padrão relativamente baixo comparado com as respectivas médias, reflexo da baixa dispersão dos valores com relação à média.

Os dados observados no coeficiente de assimetria (A_s) apresentaram valores $A_s > 0$ indicando existência de distribuição assimétrica positiva para as variáveis: carbono orgânico do solo na camada de 0,0 – 0,20 m no período 205 DAT (MC (0,65)), 332 DAT ((0,81)), 438 DAT (PCM (0,40), ACM (0,80), MC (0,14)) e camada de 0,20 – 0,40 m no período de amostragem 332 DAT (PCM (0,59), ACM (0,52)), 438 DAT (MC (1,21)); umidade do solo na camada de 0,0 – 0,20 m no período antes do transplântio (PCM (1,02), ACM (1,31), MC (0,28)), 205 DAT (ACM (1,86), MC (0,35)), 332 DAT (PCM (1,10), ACM (1,23), MC (1,80)), 438 DAT (PCM (0,83), ACM (0,19), MC (0,19)) e na camada de 0,20 – 0,40 m no período antes do transplântio (PCM (0,30), MC (0,28)), 205 DAT (ACM (1,59), MC (0,58)), 332 DAT (PCM (2,43), MC (0,66)), 438 DAT (ACM (0,98), MC (0,98)); condutividade elétrica do solo na camada de 0,0 – 0,20

m e 0,20 – 0,40 m, respectivamente, no período antes do transplântio (PCM (0,31; 0,47), ACM (1,01; 0,89), MC (0,77)), 205 DAT (PCM (0,52; 0,35), ACM (0,49; 0,56), MC (0,77; 1,32)), 332 DAT (PCM (0,55), ACM (1,35; 0,01), MC (0,41; 1,52)), 438 DAT (PCM (0,28), ACM (1,23; 0,92), MC (1,15; 0,65)); atividade microbiana nos tratamentos PCM, ACM e mata ciliar, respectivamente, nas épocas de amostragens (antes do transplântio (2,46; 2,58; 1,72), 205 DAT (1,35; 1,31; 2,31), 332 DAT (1,83; 1,24; 2,17), 438 DAT (1,05; 1,08; 1,52)).

Os dados observados no coeficiente de assimetria (As) apresentaram valores $As < 0$ indicando existência de distribuição assimétrica negativa para as variáveis: carbono orgânico do solo na camada de 0,0 – 0,20 m no período antes transplântio (PCM (-0,12), ACM (-0,06), MC (-0,12)), 205 DAT (PCM (-1,13), ACM (-1,33)), 332 DAT (PCM (-1,35), ACM (-1,42)) e camada de 0,20 – 0,40 m no período de amostragem antes do transplântio (PCM (-0,51), ACM (-0,37), MC (-0,52)), 205 DAT (PCM (-0,13), ACM (-0,49), MC (-0,92)), 332 DAT (MC (-0,17)), 438 DAT (PCM (-0,44), ACM (-0,01)); umidade do solo na camada de 0,0 – 0,20 m no período 205 DAT (PCM (-1,35)) e na camada de 0,0 – 0,20 m no período antes do transplântio (ACM (-0,24)), 205 DAT (PCM (-0,08)), 332 DAT (ACM (-0,12)), 438 DAT (PCM (-0,11)); condutividade elétrica do solo na camada 0,20 – 0,40 m antes do transplântio (MC (-0,52)), 332 DAT (PCM (-0,07)), 438 DAT (PCM (-0,50)).

O valor com tendência a zero e positivo do coeficiente de assimetria nos dados do carbono orgânico do solo evidencia que a distribuição é simétrica. Com exceção da atividade microbiana que apresentou valor de coeficiente de assimetria alto e positivo evidenciando que a distribuição é não-simétrica.

Os CVs apresentaram variabilidade média, segundo os critérios de Warrick e Nielsen (1980), para os conjuntos de dados apresentados nos tratamentos (PCM e ACM) e mata ciliar no período de amostragem (antes transplântio, 205 DAT, 332 DAT, 438 DAT), podendo ser considerada dispersão média dos dados para as variáveis carbono orgânico do solo, umidade do solo, condutividade elétrica do solo e atividade microbiana, ressaltando que houve forte variabilidade nos dados da atividade microbiana, apresentando dados heterogêneos.

O carbono orgânico do solo na camada de 0,0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, respectivamente apresentaram seguintes resultados para coeficiente de variação (C.V.) no período do transplântio (PCM (12,07 %; 22,09 %), ACM (14,36 %; 20,72 %), MC

(12,07 %; 28,63 %)), 205 DAT (PCM (11,32 %; 14,10 %), ACM (7,48 %; 17,63 %), MC (14,23 %; 19,29 %)), 332 DAT (PCM (14,79 %; 15,74 %), ACM (13,95 %; 26,76 %), MC (19,46 %; 19,55 %)), 438 DAT (PCM (11,50 %; 29,91 %), ACM (27,82 %; 15,16 %), MC (31,16 %; 23,50 %)).

A umidade do solo na camada de 0,0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, respectivamente apresentaram seguintes resultados para coeficiente de variação (C.V.) no período do transplântio (PCM (44,85%; 54,83%), ACM (55,21%; 48,68%), MC (57,71%; 53,73%)), 205 DAT (PCM (19,92%; 21,33%), ACM (10,09%; 28,63%), MC (42,35%; 48,35%)), 332 DAT (PCM (18,65%; 30,08%), ACM (26,72%; 30,05%), MC (45,57%; 38,41%)), 438 DAT (PCM (26,84%; 16,49%), ACM (17,29%; 28,87%), MC (17,29%; 28,87%)).

Atividade microbiana apresentou os seguintes resultados para coeficiente de variação (C.V.) nos tratamentos PCM, ACM e mata ciliar, respectivamente, nas épocas de amostragens (antes do transplântio (63,24%; 91,61%; 96,34%), 205 DAT (54,52%; 59,45%; 105,70%), 332 DAT (62,36%; 91,40%; 102,33%), 438 DAT (62,55%, 72,58%, 84,49%)).

A condutividade elétrica do solo na camada de 0,0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, respectivamente apresentaram seguintes resultados para coeficiente de variação (C.V.) no período do transplântio (PCM (43,79%; 50,48%), ACM (49,27%, 51,39%), MC (56,70%; 28,63%)), 205 DAT (PCM (29,60%; 31,62%), ACM (50,73%; 22,90%), MC (34,72%; 29,37%)), 332 DAT (PCM (31,20%; 22,95%), ACM (33,48%; 11,80%), MC (54,67%; 60,83%)), 438 DAT (PCM (13,27%; 9,16%), ACM (66,64%; 34,24%), MC (58,22%; 58,06%)).

Os dados das variáveis foram submetidos à distribuição normal pelo teste de KS (Kolmogorov – Smirnov) ao nível de 5% de probabilidade. Através do KS (0,23) e D_n (máximo erro), observa-se que os dados apresentaram distribuição normal para as variáveis em estudo.

Dados D_n (máximo erro) das variáveis: carbono orgânico do solo na camada na camada 0,0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, respectivamente, no antes do transplântio (PCM (0,09; 0,13), ACM (0,11; 0,10), MC (0,09; 0,06)), 205 DAT (PCM (0,19; 0,14), ACM (0,09; 0,13), MC (0,08; 0,13)), 332 DAT (PCM (0,14; 0,07), ACM (0,14; 0,11), MC (0,09; 0,08)), 438 DAT (PCM (0,16; 0,10), ACM (0,11; 0,07), MC (0,10; 0,12)); umidade do solo na camada na camada 0,0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, respectivamente,

antes do transplântio (PCM (0,14; 0,12), ACM (0,2; 0,11), MC (0,10; 0,12)), 205 DAT (PCM (0,14; 0,08), ACM (0,13; 0,09), MC (0,11; 0,20)), 332 DAT (PCM (0,18; 0,22), ACM (0,18; 0,12), MC (0,14; 0,14)), 438 DAT (PCM (0,15; 0,06), ACM (0,06; 0,10), MC (0,06; 0,087)); condutividade elétrica na camada 0,0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, respectivamente, antes do transplântio (PCM (0,11; 0,11), ACM (0,10; 0,12), MC (0,10; 0,06)), 205 DAT (PCM (0,09; 0,09), ACM (0,11; 0,09), MC (0,10; 0,11)), 332 DAT (PCM (0,10; 0,08), ACM (0,19; 0,06), MC (0,11; 0,19)), 438 DAT (PCM (0,06; 0,07), ACM (0,15; 0,13), MC (0,13; 0,11)); atividade microbiana nos tratamentos PCM, ACM e mata ciliar, respectivamente, nas épocas de amostragens (antes do transplântio (0,13; 0,18; 0,17), 205 DAT (0,12; 0,12; 0,21), 332 DAT (0,13; 0,14; 0,15), 438 DAT (0,07; 0,13; 0,20)).

Logo, os resultados de normalidade confirmam que os dados são normalmente distribuídos, para proceder à análise de dependência espacial é necessário que os dados apresentem distribuição Normal, corroborando com Montenegro & Montenegro (2006). Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2013b).

Com base na validação cruzada, selecionaram-se os modelos de semivariograma que melhor se ajustaram à distribuição das semivariâncias experimentais para as variáveis: carbono orgânico do solo, umidade do solo e atividade microbiana.

Os modelos de semivariograma que se ajustou adequadamente para carbono orgânico do solo foram: gaussiano (ACM (205 DAT; 332 DAT), PCM (205 DAT; 332 DAT)), exponencial (MC (438 DAT)) e esférico (PCM (Antes do transplântio), ACM (antes do transplântio, 438 DAT) e MC (antes do transplântio, 205 DAT; 332 DAT)) (Figura 12).

O grau de dependência espacial (GDE) evidencia que existe de forte (< 25%) dependência para período antes transplântio (PCM (1, 85%), ACM (2,93%), MC (0,05%)), 205 DAT (PCM (16,97%), ACM (9,76%), MC (12,18%)), 332 DAT (PCM (13,37%), ACM (20,55%), MC (13,64%)), 438 DAT (ACM (4,09%), MC (12,03%)). Ou seja, a presença da cobertura morta aumentou a dependência espacial no período de 332 DAT, do carbono orgânico do solo. A presença do efeito pepita nos dados PCM (438 DAT), mostra que variável não apresentaram dependência espacial.

Os parâmetros utilizados no ajuste de cada semivariograma foram validados através da técnica de Jack-Knifing (Vauclin et al., 1983), conforme os resultados do desvio padrão e média, respectivamente, no período antes do transplântio (PCM (0,99; -

0,015), ACM (0,97; 0,041), MC (0,51; 0,013)), 205 DAT (PCM (0,86; -0,013), ACM (1,21; 0,004), MC (0,94; -0,01)), 332 DAT (PCM (0,84; -0,008), ACM (1,22; -0,007), MC (0,95; -0,014)), 438 DAT (PCM (0,89; 0,006), ACM (1,13; 0,003), MC (1,05; -0,016)). Os valores da média e do desvio-padrão normalizados são suficientemente próximos de zero e um, respectivamente (condição de não-tendência). O modelo esférico foi o que apresentou melhor desempenho através dos coeficientes de determinação e critérios de validação no tratamento PCM no período de antes do transplante.

O carbono orgânico apresenta uma estrutura de dependência espacial na área estudada com alcances que variaram de 3,89 a 31,49 m. A relação entre o efeito pepita e o patamar dos semivariogramas variou de 0,05 a 20%. Portanto, a dependência espacial pode ser considerada de forte a moderada.

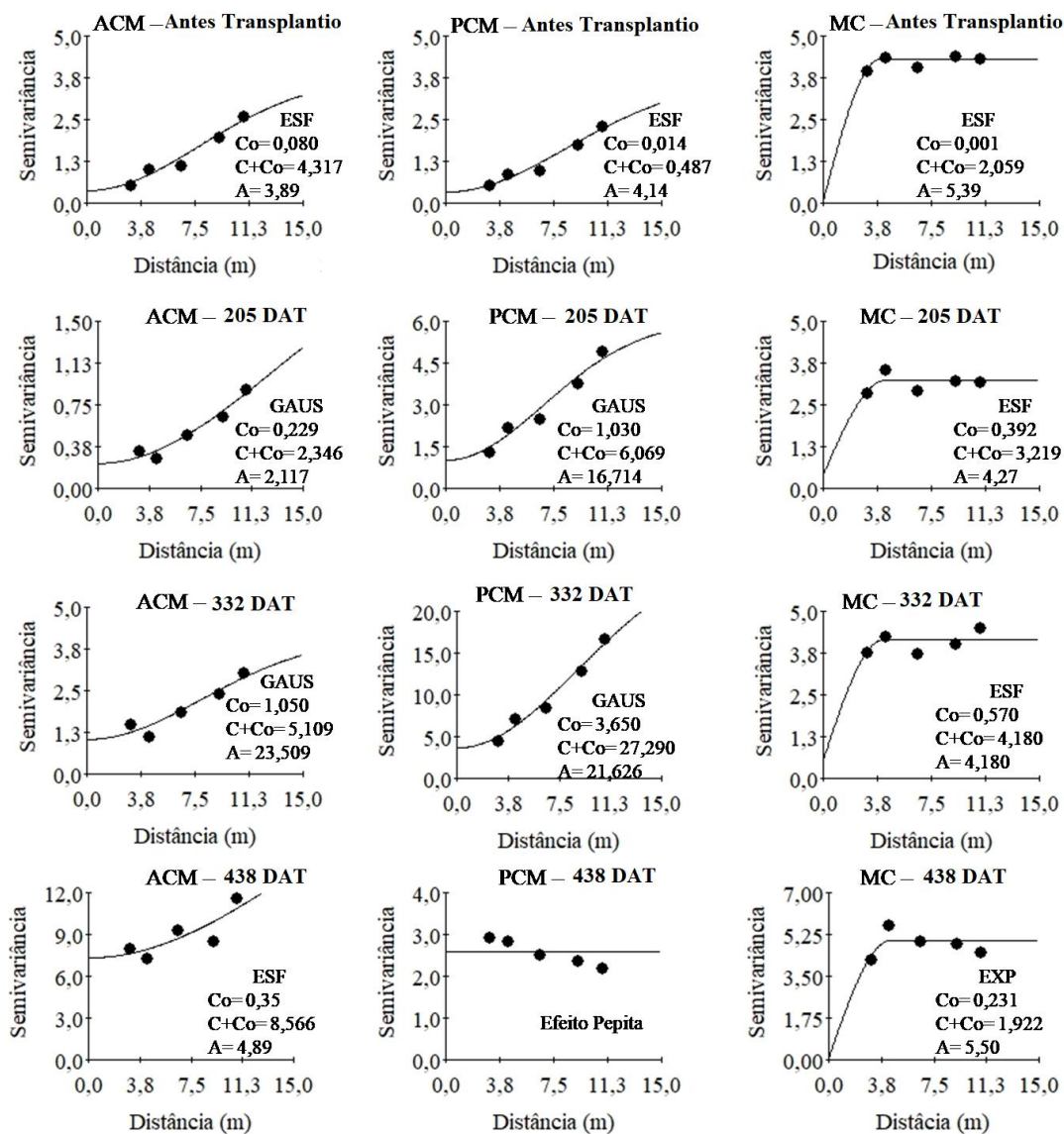


Figura 12. Semivariograma do carbono orgânico do solo (g. Kg^{-1}), para os tratamentos presença de cobertura, ausência de cobertura, e a mata ciliar.

A Figura 13 apresenta o mapeamento para carbono orgânico do solo, para os tratamentos com cobertura morta e sem cobertura morta, e para a mata ciliar. Verifica-se que o período 205 DAT e 332 DAT apresentou maior aporte de carbono orgânico para o tratamento de cobertura morta e continuidade espacial. Nos monitoramentos observa-se o aparecimento de discontinuidades espaciais, para os tratamentos PCM e ACM e mata ciliar nos período antes do transplântio, podendo está relacionado à ausência de cobertura vegetal nos setores ACM e PCM, visto que não havia plantio no

momento da amostragem. Em 438 DAT, as distribuições espaciais estão também associadas às condições de precipitação ocorridas.

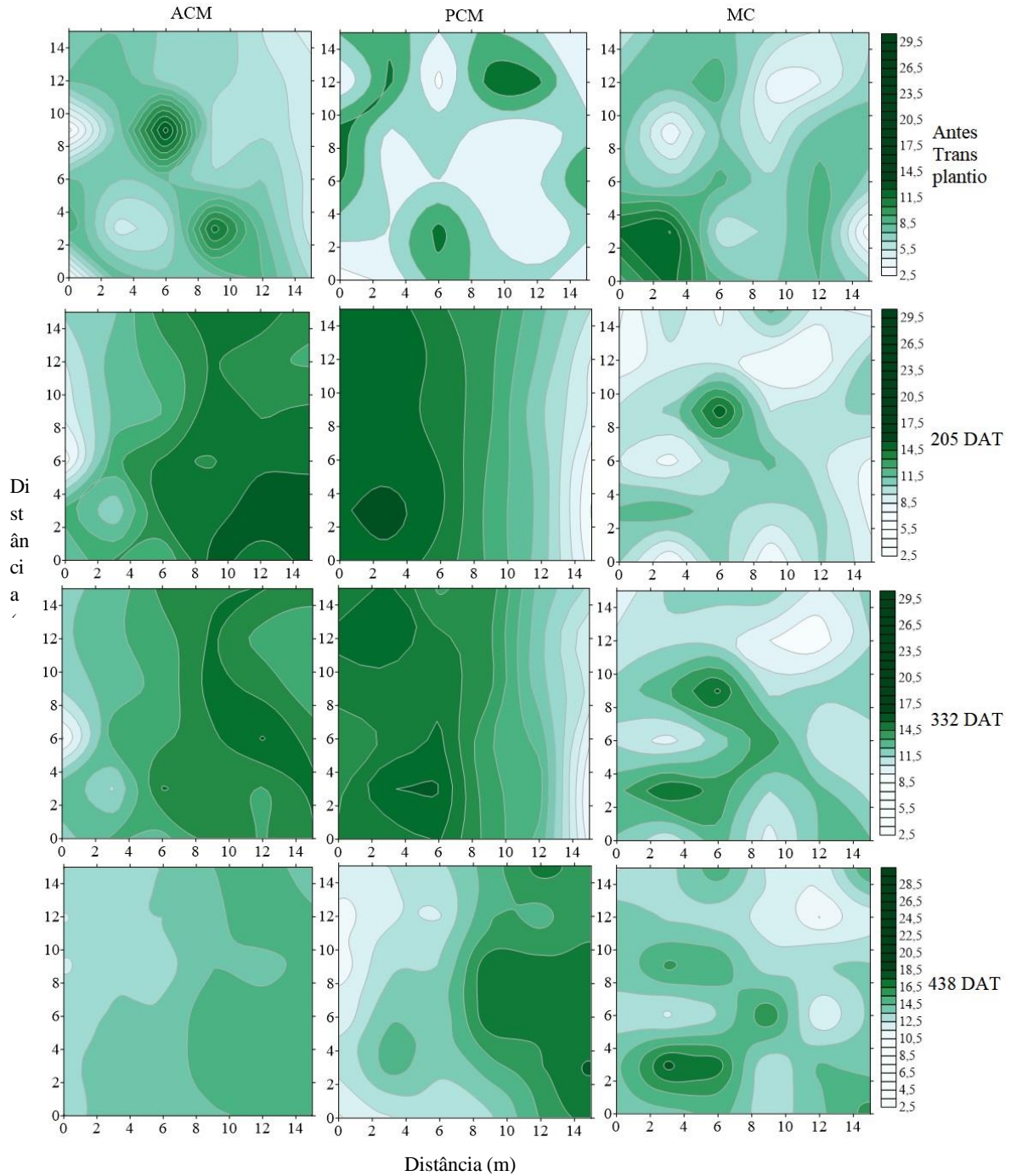


Figura 13. Mapa de isolinhas para variável Carbono orgânico do solo (g. Kg^{-1}) na camada de 0,0 - 0,20 m no período de amostragem, para os tratamentos presença de cobertura, ausência de cobertura, e a mata ciliar.

A Figura 14 apresenta as distribuições de frequência acumuladas para o carbono orgânico no solo, podendo-se verificar o incremento nos valores no período de amostragem antes do transplântio, 205 DAT e 332 DAT, principalmente no tratamento com presença de cobertura morta (notem-se as setas indicativas da variação na Figura). As variações são mais evidentes para a camada de 0,0 - 0,20 m, não tendo acontecido variabilidades importantes no tratamento na ausência de cobertura morta. Schulz et al. (2016) avaliaram o impacto de diferentes intensidades de pastejo pecuário sobre os estoques de carbono do solo na Caatinga, localizada nas proximidades do reservatório de Itaparica, Pernambuco, e encontram estoques de carbono orgânico do solo na Caatinga muito baixos (cerca de $17 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Os níveis de SOC foram maiores nos 5 cm superiores do perfil do solo e diminuíram para as maiores profundidades do solo.

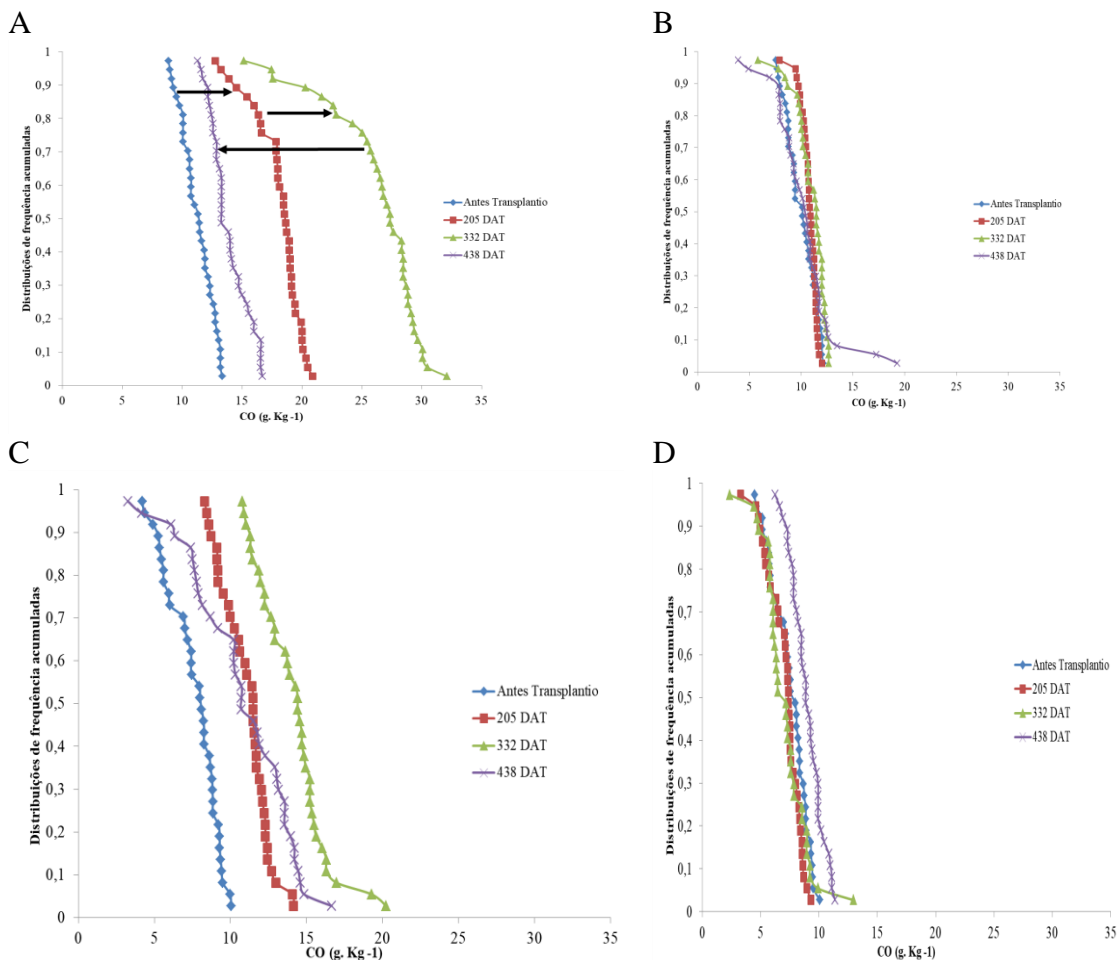


Figura 14. Distribuições de frequência acumuladas para o carbono orgânico no solo ($\text{g} \cdot \text{Kg}^{-1}$). Presença de cobertura morta, na camada de 0,0 a 0,20 m (A); Ausência de cobertura morta, na camada de 0,0 a 0,20 m (B); Presença de cobertura morta, na camada de 0,20 a 0,40 m (C); Ausência de cobertura morta, na camada de 0,20 a 0,40 m (D).

Os modelos de semivariograma que se ajustaram adequadamente para a variável umidade do solo foram: gaussiano (ACM antes do transplântio, PCM (205 DAT), MC (332 DAT)), exponencial (ACM (332 DAT), PCM (antes do transplântio, 438 DAT), MC (438 DAT)) e esférico (PCM (332 DAT) e MC (205 DAT)). O grau de dependência espacial (GDE) evidencia que existe de forte (< 25%) dependência para PCM (332 DAT (1,79%)), MC (205 DAT (5,23%); 332 DAT (1,33%); 438 DAT (16,86%)), e moderada dependência para PCM (antes do transplântio (34,37%); 205 DAT (21,76%); 438 DAT (31,0%)), ACM (antes do transplântio (40,0%), 332 DAT (60,0%)). Ou seja, a presença da cobertura morta aumentou a dependência espacial no período de 332 DAT, da umidade do solo. A presença do efeito pepita nos dados ACM (205 DAT e 438 DAT), MC (antes do transplântio) mostra que as variáveis não apresentaram dependência espacial (Figura 15).

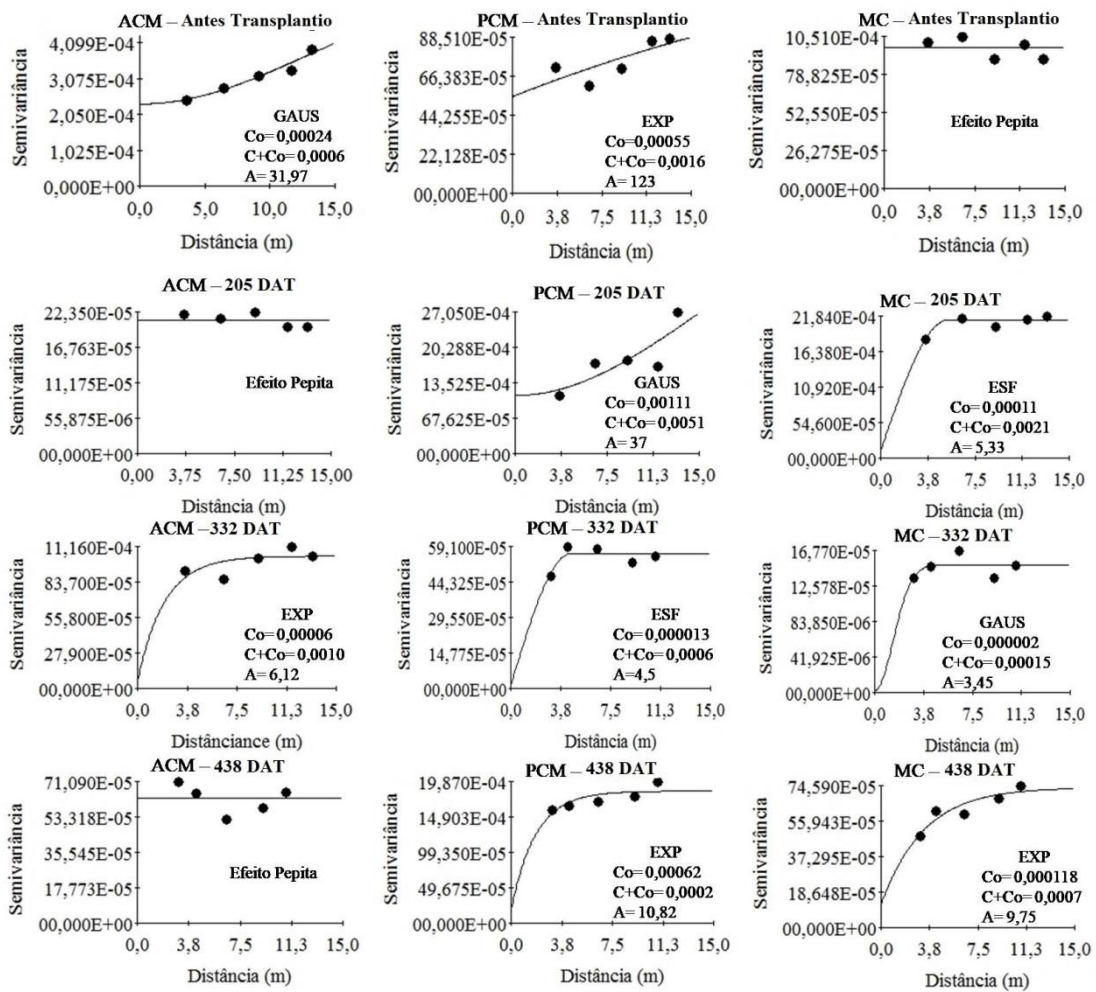


Figura 15. Semivariograma da umidade do solo ($g \cdot g^{-1}$) para os tratamentos presença de cobertura, ausência de cobertura, e a mata ciliar.

Os parâmetros utilizados no ajuste de cada semivariograma foram validados através da técnica de Jack-Knifing (Vauclin et al., 1983), conforme os resultados do desvio padrão e média, respectivamente, antes do transplântio (PCM (1,11; -0,2), ACM (1,07; -0,016), MC (0,96; -0,008)), 205 DAT (PCM (0,65; 0,001), ACM (0,74; 0,006), MC (0,83; -0,002)), 332 DAT (PCM (0,95; -0,031), ACM(0,95; -0,043), MC (0,92; 0,01)), 438 DAT (PCM (1,02; 0,013), ACM (1,03; 0,006), MC (0,74; -0,016)). Os valores da média e do desvio-padrão normalizados são suficientemente próximos de zero e um, respectivamente (condição de não-tendência). O modelo exponencial foi o que apresentou melhor desempenho através dos coeficientes de determinação e critérios de validação no tratamento ACM no período de antes do transplântio e 438 DAT.

A umidade do solo apresenta uma estrutura de dependência espacial na área estudada com alcances que variaram de 3,45 a 123 m. A relação entre o efeito pepita e o patamar dos semivariogramas variou de 1,79 a 60%, portanto a dependência espacial pode ser considerada de forte a moderada.

Santos et al. (2011) verificaram que variabilidade espacial em área sob cobertura morta manteve-se baixa, em períodos prolongados sem precipitação. Os autores destacaram que a variação da umidade estava relacionada com a cobertura e propriedades do solo, e ressaltaram que a cobertura morta destacou-se como a prática conservacionista mais adequada para manutenção da umidade do solo nas condições do estudo.

Lei et al. (2011) reforçam que a variação espaço-temporal da umidade do solo é causada por um efeito abrangente de vegetação, fenômenos meteorológicos (principalmente chuvas), terreno (declividade, orientação de vertentes, altitude e diferenciação geográfica) e atividades agrícolas em diferentes escalas.

Souza et al. (2011) adotaram palha de feijão de 9 t ha^{-1} como cobertura morta em um vale aluvial irrigado altamente heterogêneo no Agreste de Pernambuco, tendo-se verificado que a cobertura foi eficiente em reter a umidade do solo e em reduzir a sua variabilidade espacial, contribuindo assim para áreas irrigadas com umidades do solo mais homogeneamente distribuídas.

Os modelos ajustados foram utilizados na confecção de mapas de isolinhas da umidade do solo (A Figura 16), através da técnica de krigagem para os tratamentos com cobertura morta e sem cobertura morta, e para a mata ciliar. Verifica-se que na época de

amostra 205 DAT apresentou teor maior de umidade para o tratamento de cobertura morta e continuidade espacial. Nos monitoramentos subsequentes, observa-se o aparecimento de descontinuidades espaciais, para os tratamentos PCM e ACM e mata ciliar nos período de antes do transplântio, 332 DAT e 438 DAT, que podem estar associadas às condições climática do local nos meses.

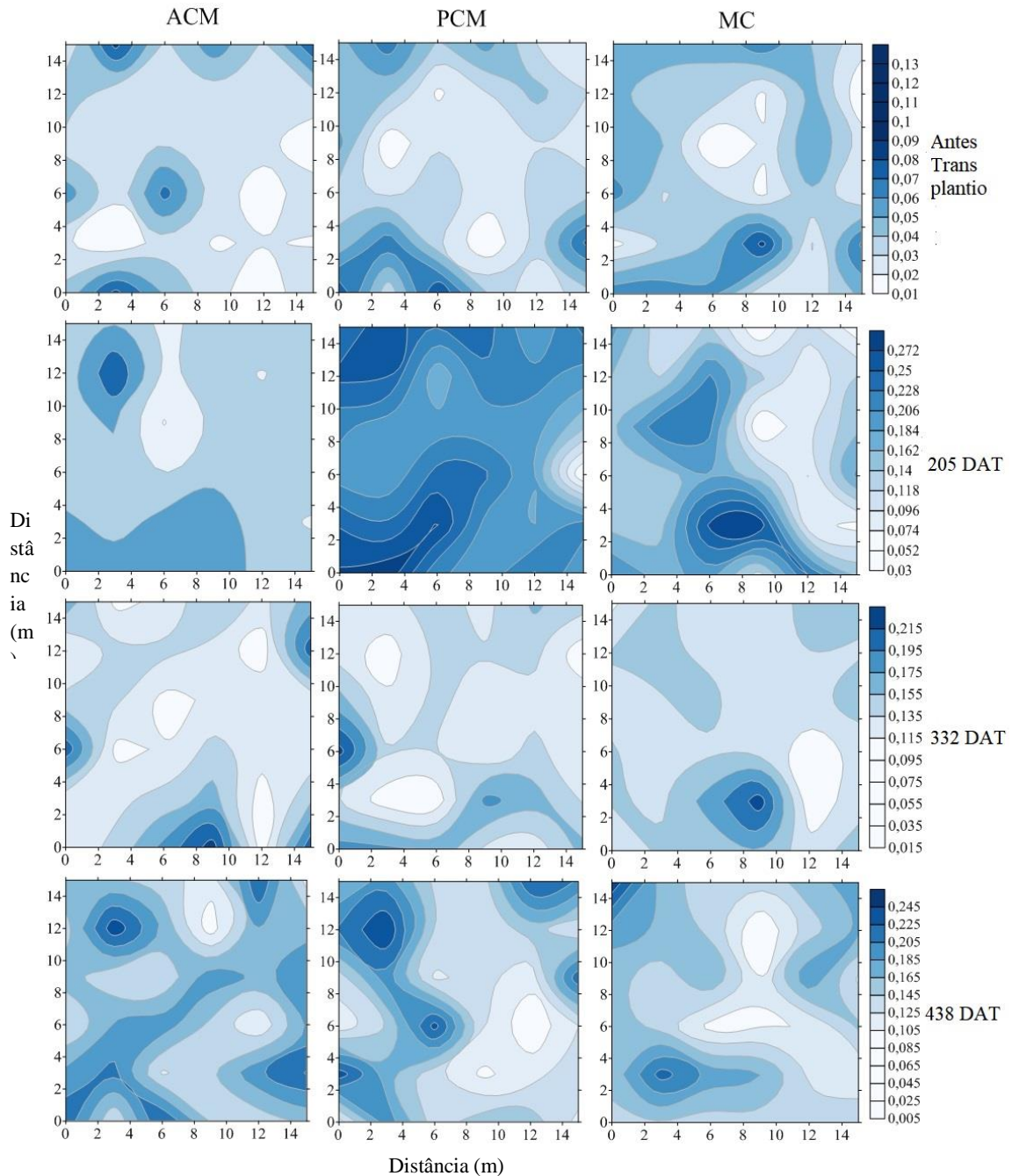


Figura 16. Mapa de isolinhas para variável umidade do solo (g. g^{-1}) na camada de 0,0 - 0,20 m no período de amostragem, para os tratamentos presença de cobertura, ausência de cobertura, e a mata ciliar.

Os modelos de semivariograma que melhor se ajustaram à distribuição das semivariâncias experimentais estão apresentados na Figura 17. O modelo Esférico e exponencial foram os que se ajustaram adequadamente para a variável atividade microbiana. O grau de dependência espacial (GDE) evidencia que existe de forte (< 25%) dependência para PCM (antes do transplântio (0,27%); 205 DAT (10,77%); 438 DAT (2,14%)), ACM (antes do transplântio (0,29%), MC (205 DAT (2,55%); 332 DAT (5,59%); 438 DAT (16,78%)), e moderada dependência para ACM (438 DAT (41,60%)), MC (antes do transplântio).

A presença do efeito pepita nos dados ACM (205 DAT e 332 DAT), PCM (332 DAT) mostra que variável não apresentaram dependência espacial.

Os parâmetros utilizados no ajuste de cada semivariograma foram validados através da técnica de Jack-Knifing (Vauclin et al., 1983), conforme os resultados do desvio padrão e média, respectivamente, antes do transplântio (PCM (1,15; 0,016), ACM (1,07; 0,018), MC (1,06; -0,002)), 205 DAT (PCM (1,02; 0,012), ACM (1,11; 0,013), MC (0,99; 0,004)), 332 DAT (PCM (0,56; -0,003), ACM(1,12; 0,025), MC (1,49; 0,001)), 438 DAT (PCM (0,98; 0,017), ACM (0,91; -0,003), MC (0,97; -0,002)). Os valores da média e do desvio-padrão normalizados são suficientemente próximos de zero e um, respectivamente (condição de não-tendência). O modelo esférico foi o que apresentou melhor desempenho através dos coeficientes de determinação e critérios de validação apresentado na mata ciliar no período de 205 DAT.

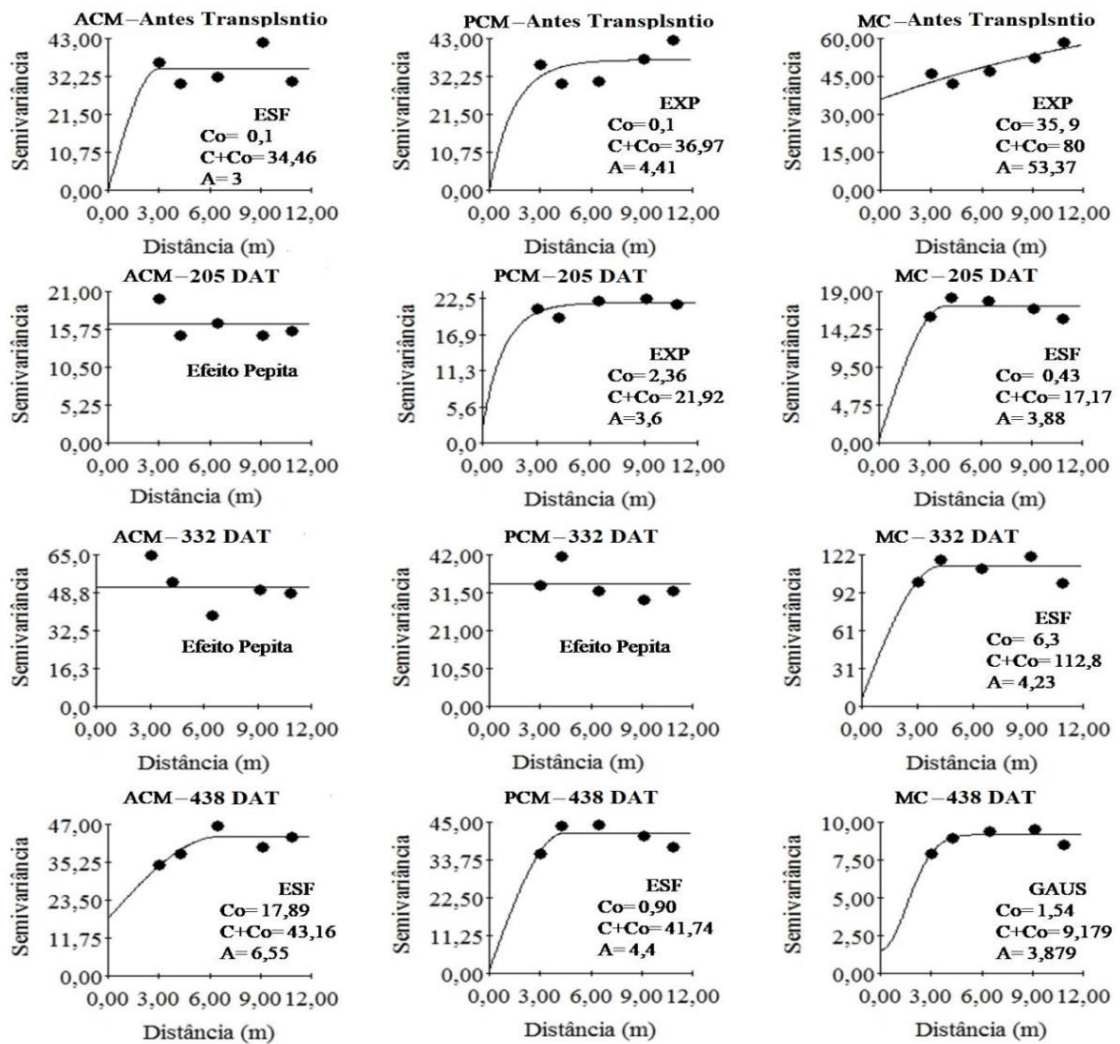


Figura 17. Semivariograma da atividade microbiana do solo (mgCO₂) para os tratamentos presença de cobertura, ausência de cobertura, e a mata ciliar.

A atividade microbiana apresenta uma estrutura de dependência espacial na área estudada com alcances que variaram de 3,0 a 53,37 m. A relação entre o efeito pepita e o patamar dos semivariogramas variou de 0,27 a 44,88%; portanto, a dependência espacial pode ser considerada de forte a moderada, em todos os casos.

Os modelos ajustados foram utilizados na confecção de mapas de isolinhas da atividade microbiana do solo (A Figura 18), através da técnica de krigagem para os tratamentos com cobertura morta e sem cobertura morta, e para a mata ciliar. É marcante a continuidade espacial da atividade microbiana na mata ciliar, em antes do transplntio (novembro de 2016). Nos monitoramentos subsequentes, observa-se o aparecimento de descontinuidades espaciais, para a mata ciliar, que podem estar associadas ao regime hídrico no riacho adjacente à área estudada. Entre os tratamentos

com e sem cobertura, não se nota evidência de distinção de padrões, exceto para antes do transplante.

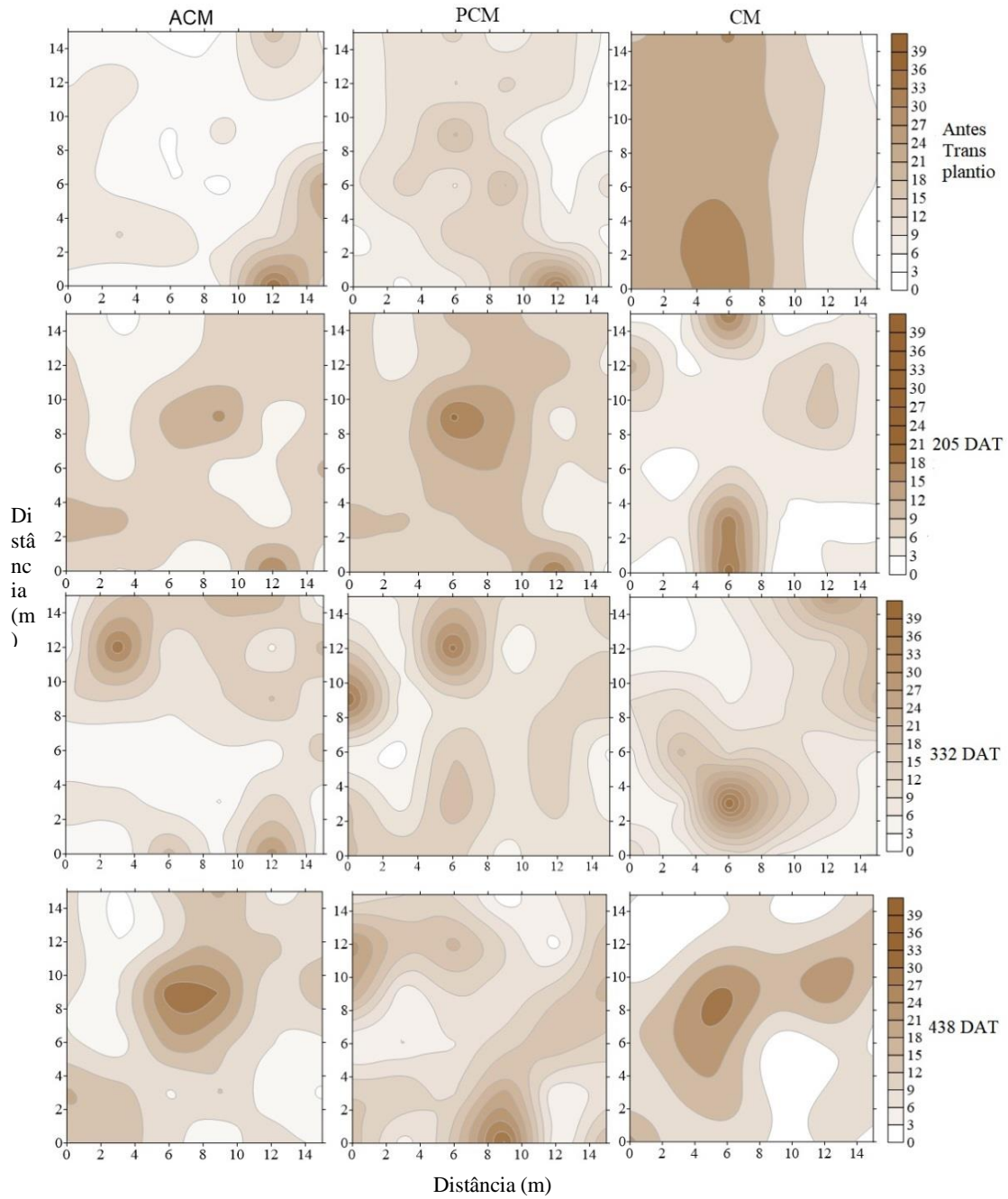


Figura 18. Mapa de isolinhas para variável atividade microbiana (mgCO₂) no período de amostragem para os tratamentos presença de cobertura, ausência de cobertura, e a mata ciliar.

Na Figura 20 pode ser visto o comportamento dos dados médios da condutividade elétrica para as camadas 0,0 - 0,20 m (A) e 0,20 - 0,40 m, para os tratamentos presença de cobertura, ausência de cobertura, e a mata ciliar. Para a primeira camada, pode-se verificar o gradual e sistemático aumento da condutividade elétrica nas áreas irrigadas, ao longo do tempo, com um comportamento de maior variabilidade temporal para o tratamento sem cobertura morta. A área de mata ciliar também apresenta aumento gradual da condutividade elétrica, entre as duas primeiras campanhas de monitoramento, atingindo uma estabilização para as demais campanhas, porém com menores magnitudes.

Estabilização também se observa para a condutividade elétrica média na camada 0,20 - 0,40 m, no tratamento com cobertura morta, e após a segunda campanha de campo, comportamento semelhante se nota para a condutividade elétrica média no tratamento na ausência de cobertura, para as duas primeiras campanhas. Nas campanhas subsequentes, observa-se que a condutividade elétrica média na área sem cobertura é levemente superior à da área com cobertura, para a mesma profundidade. Merece destaque a redução ocorrida na condutividade elétrica do solo na camada 20 - 40 m, na Mata Ciliar, a partir da primeira campanha. Tal redução pode estar associada ao aumento da conectividade hidrológica entre o vale aluvial e o rio Brígida.

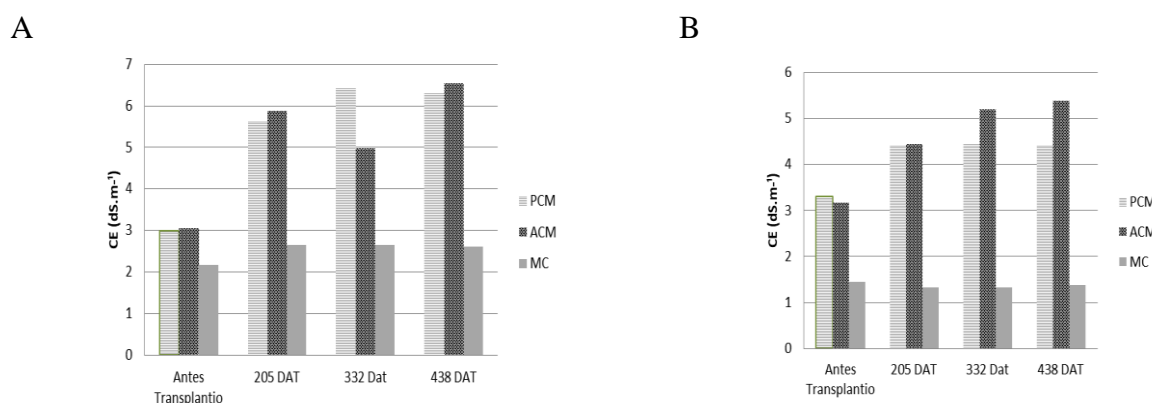


Figura 20. O comportamento dos dados médios da condutividade elétrica do solo ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) nas camadas 0,0 - 0,20 m (A) e 0,20 - 0,40 m, para os tratamentos presença de cobertura, ausência de cobertura, e a mata ciliar.

Souza et al. (2008), avaliando a evolução e variabilidade espacial da salinidade em Neossolo Flúvico, em região semiárida de Pernambuco, cultivado com cenoura sob irrigação com água moderadamente salina e com presença de cobertura morta de

restolhos de feijão com densidade de 9 t ha^{-1} , verificaram que na camada de 0-40 cm, a salinidade, inicialmente de 7,98%, aumentou para 15,09% ao final do ciclo.

5.4. ANÁLISE DE NEMATOFAUNA

Foram encontradas 19 taxas nas áreas de estudo, durante os quatro períodos avaliados, classificados em 15 gêneros e quatro famílias. Foram identificados em abundância cinco gêneros e uma família de parasitos de planta (Tylenchidae), e também, três famílias de nematoides de vida livre: bacteriófagos (3), e gêneros de vida livre: bacteriófagos (4), micófagos (4), onívoros (2) e predadores (0).

Os parasitos de planta foram dominantes dentre os grupos tróficos, representando (41,95%, 82,25%, 82,48%, 88,90%), seguidos por bacteriófagos (46,0%, 3,05% 17,6%, 5,5% e 13,84%), na época de amostragem, antes do transplântio, 332 DAT, 438 DAT, 604 DAT, respectivamente (Tabela 11). Resultado também encontrado pelos autores Vicente et al. (2015), ao descrever a variabilidade espacial da comunidade de nematoides associada a propriedades do solo em uma região de condições climáticas extremas. Tomazine et al. (2008) observaram que em áreas naturais e com cultivos anuais e perenes houve prevalência de nematoides parasitas de plantas, seguido de bacteriófagos.

A matéria orgânica no solo fornece maior mobilidade e oxigenação, estando relacionada diretamente com a densidade populacional de nematoides (VICENTE, 2011). Segundo Vicente (2016), os nematoides parasitos de planta são dominantes em áreas que possuem agroecossistemas, devido às exigências específicas de cada espécie, condições de solo, clima, limitações dos recursos alimentares que diminui a população de predadores naturais destes organismos, facilita sua reprodução, e outros fatores que influenciam sua sobrevivência.

Os nematoides de vida livre na escala c-p (colonizadores-persistentes), que varia de 1 (colonizadores) a 5 (persistentes), Cp de parasitos de plantas são chamados pp. Os cp-1 são considerados oportunistas de enriquecimento, têm ciclos de vida curtos e são frequentemente encontrados em ambientes perturbados. Segundo Zhong et al. (2017), há evidências acumuladas sugerindo que a abundância e a composição de diferentes grupos tróficos de nematoides são afetadas por práticas agronômicas. Os nematoides também são usados como indicadores de perturbação induzida por diferentes práticas

agrícolas (SÁNCHEZ-MORENO et al., 2018; ZHONG et al., 2017). A presença de nematoide Rhabditids, Rhabditidae e Diplogaster nos tratamentos com presença de cobertura morta é um indicativo de que a área pode ser um ambiente perturbado.

Conforme Zhong et al. (2017), que conduziram uma investigação sobre os efeitos de diferentes manejos / manejo de resíduos sobre a abundância e diversidade de nematoides, tanto o cultivo como o tratamento de resíduos influencia na densidade e na diversidade de nematóides, embora o efeito de preparo do solo tenha sido a principal fonte de variação dos dados. Gutiérrez et al. (2016) avaliaram o uso de nematóides como indicadores de qualidade ambiental em áreas (florestal, agricultável e industrial), fortemente influenciada pelas atividades humanas.

Tabela 11. Abundância, média e dominância dos Taxa de nematoides.

Grupos	GF	Antes do transplântio			332 DAT			438 DAT			604 DAT		
		Média ± δ	D(%)	A	Média ± δ	D(%)	A	Média ± δ	D(%)	A	Média ± δ	D(%)	A
Bacteriófagos		45,43 ± 50,54	46,0	1363	4,8 ± 11,58	3,05	443	14,4±22,76	9,17	432	60,7±92,31	5,5	1821
Rhabditits	Ba ₁	11,98 ± 3,73	3,79	112	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	2,73± 11,65	0,25	82
<u>Rhabditidae</u>	Ba ₁	48,38 ± 36,3	36,82	1089	7,17± 20,42	4,56	215	6,47 ± 20,29	4,12	194	38,93± 65,66	3,56	1168
Monhysteridae	Ba ₂	1,826 ± 0,33	0,34	10	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0
<i>Acrobeles</i>	Ba ₂	8,83 ± 3,87	3,92	116	2,8 ± 9,27	1,78	84	1,97 ± 8,28	1,25	59	16,93± 41,32	1,55	508
Cephalobus	Ba ₂	2,37 ± 0,433	0,44	13	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0
Cephalobidae	Ba ₂	2,92 ± 0,76	0,78	23	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0
Diplogaster	Ba ₁	0 ± 0	0	0	4,8 ± 11,58	3,05	144	5,97 ± 12,43	3,80	179	2,1 ± 8,454	0,19	63
Micófagos		8,5 ± 14,97	8,6	255	13,13 ± 20,43	8,3	394	13,12 ± 20,43	8,35	393,5	60,67 ± 60,72	5,5	1820
<i>Aphelenchoides</i>	Mi ₂	7,28 ± 2,86	2,907	86	9,8 ± 14,29	6,23	294	9,78 ± 14,27	6,23	293,5	1,97 ± 6,12	0,18	59
<i>Aphelenchus</i>	Mi ₂	12,59 ± 4,63	4,699	139	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	13,47 ± 21,32	1,23	404
<i>Dorylaimoides</i>	Mi ₄	4,347 ± 1	1,014	30	3,33± 12,86	2,12	0	3,33 ± 12,85	2,12	100	40,27 ± 53,19	3,68	1208
<i>Nothotylenchus</i>	Mi ₂	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	4,97 ± 20,78	0,45	149
Onívoros		3,3 ± 9,89	3,35	99	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0
<i>Mesodorylaimus</i>	On ₄	8,62 ± 2,17	2,197	65	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0
<i>Thornia</i>	On ₄	4,79 ± 1,13	1,149	34	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0
Predadores		0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0
Parasitos de Planta		41,3 ± 80,8	41,95	1241	129,3±178,1	82,25	3879	129,57 ± 169,09	82,48	3887,25	972,53± 947,44	88,90	29176
<i>Pratylenchus</i>	H ₃	21,11 ± 10,97	11,122	329	4,9 ± 13,74	3,12	147	5,6 ± 14,01	3,56	168	25,9 ± 42,20	2,37	777
<i>Tylenchidae</i>	H ₃	7,67 ± 1,4	1,420	42	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0
<i>Rotylenchus</i>	H ₃	7,78 ± 1,7	1,724	51	0,77± 4,2	0,49	23	7,3 29,32	4,65	219	7,07 ± 24,58	0,65	212
<i>Rotylenchulus</i>	H ₃	8,21 ± 2,06	2,096	62	15,23± 34,02	9,69	457	7,79 ± 19,89	4,96	233,75	0 ± 0	0	0
<i>Helicotylenchus</i>	H ₃	51,65 ± 22,8	23,124	684	108,4 ± 151,32	68,96	3252	108,88 ± 142,86	69,31	3266,5	939,57 ± 924,12	85,89	28187
<i>Meloidogyne</i>	H ₃	9,26 ± 2,43	2,468	73	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	0	0	0
Endoparasitos		10,97 ± 21,11	11,12237999	329	4,9 ± 13,74	3,12	147	5,6 ± 14,01	3,56	168	25,9 ± 42,20	2,37	777
Ectoparasitos		30,4 ± 64,36	30,831643	912	124,4 ± 172,89	79,13	3732	123,97 ± 164,23	78,92	3719,25	946,63 ± 930,96	86,54	28399
Total		98,6 ± 98,94	100	2958	157,2 ± 179,19	100	4716	157,091 ± 175,13	100	4712,75	1093,9 ± 979,31	100	32817

GF = Guildas funcionais são a combinação dos grupos tróficos e da escala de colonizadores – persistentes c-p; D(%) = dominância de cada grupo trófico e taxa expresso em percentagem; A (abundância) = Somatório do número de nematoides em 300 cm³ de solo em 24 amostras em quatro épocas; Média ± δ = Número médio e desvio padrão do número de nematoides por 300 cm³ de solo em cada época; DAT = Dias após transplântio.

Com relação aos parasitos de plantas, nota-se que houve um aumento na abundância (329-777; 684 - 28187) e uma redução na dominância (11,12% - 2,37%; 23,12% - 23,12%) *Pratylenchus* e *Helicotylenchus*, respectivamente, com relação ao período inicial e final, além de ter maior abundancia no tratamento com presença de cobertura morta e adubo. Segundo Vicente (2016), os nematoides parasitos de planta pertencentes ao grupo p-p3 podem resistir a condições ambientais de estresse (Tabela 11).

Verifica-se na Figura 21 que houve aumento da abundância no período de 604 DAT, ressaltando os nematoides de parasitos de planta em todos os tratamentos, com maior evidência no tratamento com presença de cobertura morta e adubo. A mata ciliar teve maior presença de bacteriófagos, que são nematoides de vida livre.

Os parasitos de planta são precisam do estabelecimento das plantas superiores para se desenvolverem, enquanto que nematoides de vida livre possuem hábitos alimentares diferentes, uns se alimentam por esporos de fungos e leveduras, meio da decomposição da matéria orgânica no solo e outros de algas, também tem aqueles que se alimentam de rotíferos, protozoários e outros nematoides (YEATES et al., 1993). Como o cultivo da moringa foi implantado em uma área que apresentava práticas agricultáveis anteriormente, houve o estabelecimento dos parasitos de planta, que possuem alimento a cada ciclo de cultivo, favorecendo o desenvolvimento do grupo p-p3.

Levi et al. (2012) ressaltaram a importância dos fatores ambientais (clima, tipo de solo, disponibilidade de alimentos) na formação da densidade de comunidades de nematóides. De fato, a influência na composição trófica e na abundância varia de um ecossistema para outro em uma escala temporal e espacial.

Verifica-se na Figura 22 que houve aumento da abundância no período de 604 DAT, ressaltando os nematoides de parasitos de planta em todos os tratamentos, com maior evidência no tratamento com presença de cobertura morta e adubo. A mata ciliar teve maior presença de bacteriófagos, que são nematoides de vida livre. Cardoso (2014), Cardoso et al. (2015) e Cardoso et al. (2016) ressaltaram a influência do uso, manejo do solo e das propriedades físicas na comunidade de nematoides em áreas cultivadas com monocultura (cana-de-açúcar) e remanescentes de Floresta Atlântica em Pernambuco.

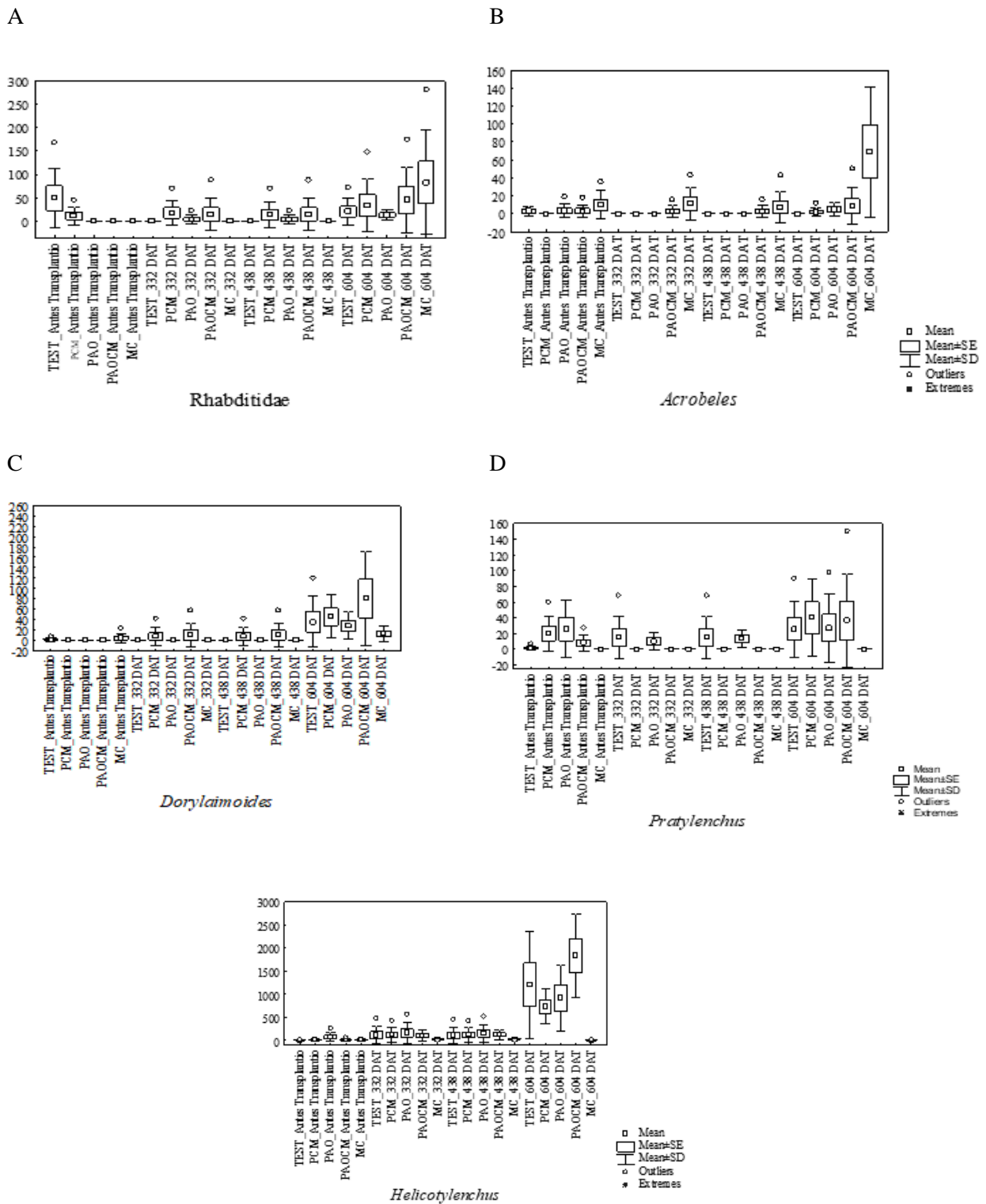


Figura 21. Abundância da Comunidade de nematoides em área de cultivo Moringa e Mata Ciliar, durante as épocas da amostragem nos tratamentos (PCM, ACM, PAO, PAOCM, MC). Abundância dos Rhabditidae (A); Abundância dos *Acrobeles* (B); Abundância dos *Dorylaimoides* (C); Abundância dos *Pratylenchus* (D); Abundância dos *Helicotylenchus* (E).

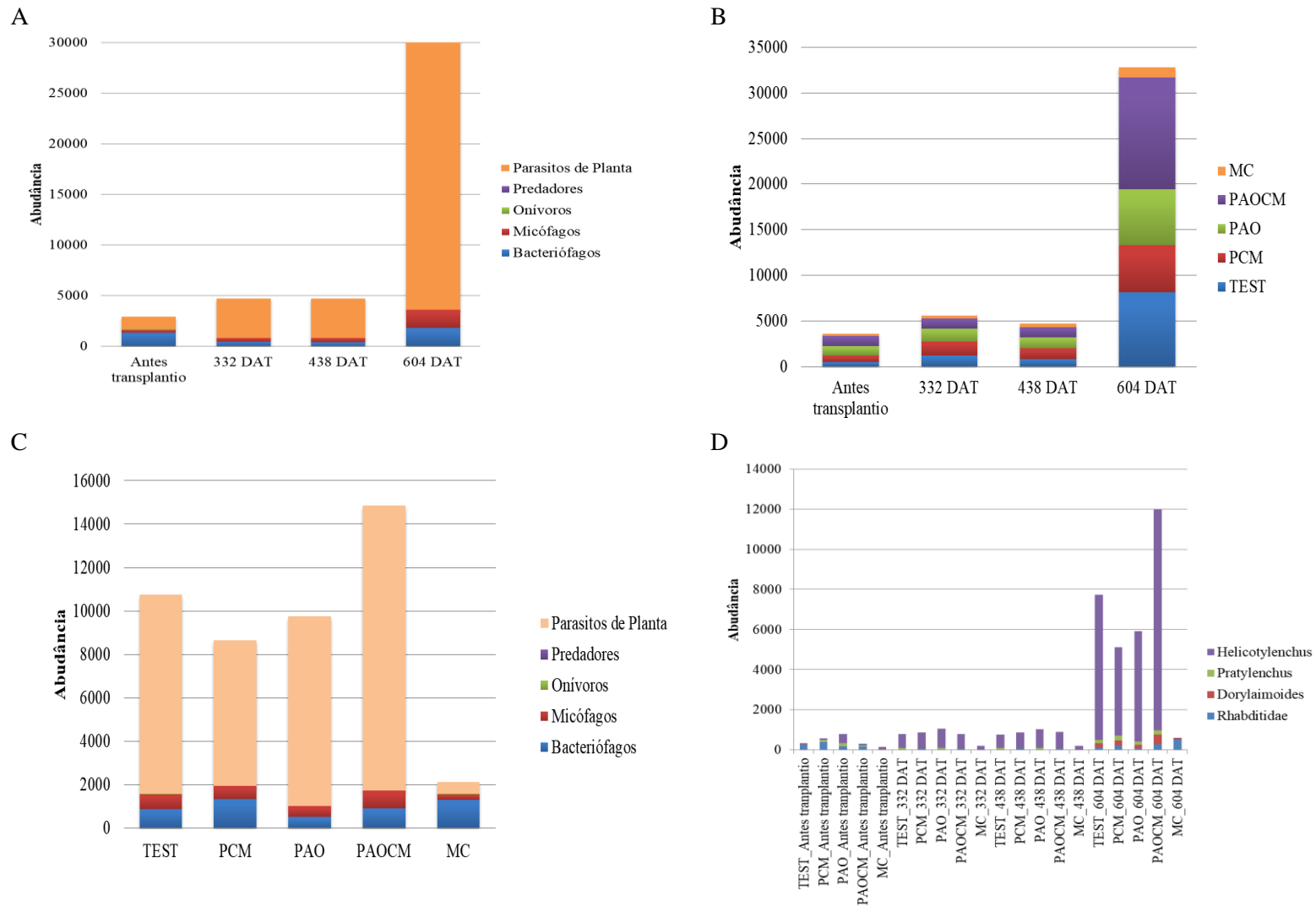


Figura 22. Abundância dos grupos tróficos em área de cultivo Moringa e Mata Ciliar. Abundância dos grupos tróficos durante as épocas da amostragem (A); Abundância com relação as épocas da amostragem e tratamentos (B); Abundância dos grupos tróficos com relação aos tratamentos (C); Abundância das comunidades de nematoides com relação aos tratamentos e época de amostragem (D).

6. CONCLUSÕES

A técnica de manejo conservacionista utilizando a cobertura morta (pó de coco) influencia positivamente no desenvolvimento da oleaginosa moringa e contribui para o acréscimo do carbono orgânico no solo, diminuindo a perda de umidade do solo e a temperatura do solo.

Há incremento nos valores do carbono orgânico na época de amostragem, 205 DAT, 332 DAT e 604 DAT, principalmente no tratamento com presença de cobertura morta. As variações do carbono orgânico do solo são mais evidentes para a camada de 0,0-0,20 m, não tendo acontecido variabilidades importantes no tratamento na ausência de cobertura morta.

A atividade microbiana com os tratamentos com e sem cobertura não apresenta evidência de distinção de padrões.

Os parasitos de planta são dominantes dentre os grupos tróficos, havendo presença de nematoide Rhabditts, Rhabditidae e Diplogaster, que possuem escala c-p1, nos tratamentos com presença de cobertura morta, podendo ser indicativo de que a área está em um ambiente perturbado. Os nematoides são importantes bioindicadores, influenciados pelas propriedades químicas do solo em condições de campo, e sob o plantio de oleaginosa.

De acordo com os resultados obtidos no estudo, o plantio da oleaginosa se desenvolve adequadamente na região, proporcionando novos conceitos junto com técnica conservacionista para a convivência com as condições do solo e escassez hídrica, e restauração de serviços ecossistêmicos no semiárido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Sistema de irrigação localizada: Avaliação do desempenho. Rio de Janeiro, p. 11, 1987.

ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; MONTENEGRO, A. A. A. Desempenho da modelagem cinemática do escoamento superficial para chuvas intermitentes em solos com cobertura morta. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 19, p. 166 – 172, 2015.

AGBOUN, T.D.T., APUGO-NWOSU, T.U., MOHAMMED, J.A., AMEH, A.O., ABUBAKAR, G., MUSTAPHA, M., OKORO, P. Potentials of using *Moringa oleifera* seeds in the bioremediation of soil contaminated by crude oil. **British Journal of Applied Science & Technology**, v. 15, p.1–8, 2016.

AGRITEMPO - Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. Recife, 2018. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br>. Acesso em: 23 de janeiro de 2018.

AHMAD, W., NOOR, M.A., AFZAL, I., BAKHTAVAR, M.A., NAWAZ, M.M., SUN, X., ZHAO, M. Improvement of sorghum crop through exogenous application of natural growth promoting substances under a changing climate. **Sustainability**, v. 8, p. 1330. 2016.

AL-ANIZI, A. A.; HELLYER, M. T.; ZHANG, D. Toxicity assessment and modelling of *Moringa oleifera* seeds in water purification by whole cell bioreporter. **Water Research**, v. 56, p. 77-87, 2014.

AMARAL, H. F.; SENA, J. O. A.; ANDRADE, D. S.; JÁCOME, A. G.; CALDAS, R. G. Carbon and soil microbial respiration in soil from conventional, organic vineyards and comparison with an adjacent forest. **Revista Ciências Agrárias**, v. 33, p. 437-448, 2012.

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SILVA, C.R.; COELHO, E.F. Monitoramento do teor de água no solo. In: AGUIAR NETTO, A.O.; BASTOS, E.A. Princípios agronômicos da irrigação. Brasília: Embrapa, p. 69-99, 2013.

APAC – AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMAS. Boletim do clima. Síntese climática. Recife, v. 05, nº 12, 2017.

APHA - *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association. 20th ed. Washigton, p. 1220, 1998.

AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, I. A.; MANTOVANELI, B. C.; SOARES, M. D. R. Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em latossolo sob floresta nativa e pastagem na Região de Manicoré, Amazonas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 38, p. 397-406, 2014.

AKHTAR, K.; WANGA, W.; KHAN, H.; REN, G.; AFRIDI, M. Z.; FENG, Y.; YANG, G. Wheat straw mulching offset soil moisture deficient for improving physiological and growth performance of summer sown soybean. **Agricultural Water Management**, v. 211, p. 16-25, 2019.

ARANTES, C. C.; PATERNIANI, J. E. S.; RODRIGUES, D. S.; HATORI, P. S.; PIRES M. S. G. Diferentes formas de aplicação da semente de *Moringa oleifera* no

tratamento de água. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 19, p. 266–272, 2015.

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. DA S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 677-687, 2009.

ARAÚJO FILHO, R. N.; FREIRE, M. B. G. S.; WILCOX, B. P.; WEST, J. B.; FREIRE, F. J.; MARQUES, F. A. Recovery of carbon stocks in deforested caatinga dry forest soils require at least 60 years. **Forest Ecology and Management**, v. 407, p 210–220, 2018.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v.23, p. 66-75, 2007.

ASSIS, F. M. C. V. **Influência da cobertura de pó de coco na lixiviação de solutos em colunas de solo**. 2018. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife – PE. 2018.

AZIZ, I.; MAHMOOD, T.; ISLAM, K.R. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. **Soil & Tillage Research**, v. 131, p. 28-35. 2015.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTINETO, L.; FERNANDES, S. A. Organic matter storage in a Sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 54, p. 101-109, 2000.

BAYER, C. Aumento do estoque de matéria orgânica de um Cambissolo Humico catarinense sob plantio direto. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 2, p. 88-96, 2003.

ABOUZIENA, H.F.; RADWAN S.M. Allelopathic effects of sawdust, rice straw, bur-clover weed and cogongrass on weed control and development of onion. **International Journal of ChemTech Research**, v. 7, p. 337-345, 2015.

BAKKE, I. A.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; BAKKE, O. A. Características de crescimento e valor forrageiro da moringa (*Moringa Oleifera* Lam.) submetida a diferentes adubos orgânicos e intervalos de corte. **Revista Engenharia Ambiental**. v. 7, p. 133-144, 2010.

BAPTISTA, A. T. A. SILVA, M. O.; BERGAMASCO, ROSÂNGELA.; VIEIRA, A. M. S. Avaliação físico-química e sensorial de biscoitos tipo cookies elaborados com folha de *Moringa oleifera*. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 30, p. 65-74, 2012.

BAPTISTA, A.T.A., SILVA, M.O., GOMES, R.G., BERGAMASCO, R., VIEIRA, M.F., VIEIRA, A.M.S., 2017. Protein fractionation of seeds of *Moringa oleifera* lam and its application in superficial water treatment. **Separation and Purification Technology**, v. 180, p. 114–124.

BARONI, G.; ORTUANI, B.; FACCHI, A.; GANDOLFI, C. The role of vegetation and soil properties on the spatio-temporal variability of the surface soil moisture in a maizecropped field. **Journal of Hydrology**, v. 89, p. 148-159, 2013.

BARROS, J. D. S.; CHAVES, L. H. G.; PEREIRA, W. E. Carbon and nitrogen stocks under different management systems in the Paraíba "Sertão". **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, p. 130-136, 2015.

BASTOS, D. C. O.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Avaliação de Alternativa de Irrigação Suplementar com Água Moderadamente Salina em Vale Aluvial no Semi-Árido: Experimentação e Modelagem. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, p. 27-36, 2009.

BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, v. 65, p. 10-22, 2014.

BENINCASA, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42 p.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, LP. Análises Químicas e bioquímicas em plantas. Recife: UFRPE, 2011. 267p.

BOATENG, L.; NYARKO, R.; ASANTE, M.; STEINER-ASIEDU, M. Acceptability of complementary foods that incorporate *Moringa oleifera* leaf powder among infants and their caregivers. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 39, p. 137-148. 2018

BORGES, T. K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M.; SILVA, D. D.; SILVA JUNIOR, V. P. Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (zeamays l.) em semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1862-1873, 2014.

BORTOLON, E. S. O.; MIELNICZUK, J.; TORNQUIST, C. G.; LOPES, F.; FERNANDES, F. F. Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul usando modelo Century. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1635-1646, 2009.

BRIAR, S. S.; CULMAN, S. W.; MATHEWS, A. Y.; JACKSON, L. E.; FERRIS H. Nematode community responses to a moisture gradient and grazing along a restored riparian corridor. **European Journal of Soil Biology**, v. 50, p. 32-38, 2012.

CALONEGO, J. C.; SANTOS, C. H.; TIRITAN, C. S.; CUNHA JÚNIOR, J. R. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, v. 24, p. 128-135, 2011.

CARDOSO, M. O.; PEDROSA, E. M. R.; FERRIS, H.; ROLIM, M. M.; VICENTE, T. F. S.; DAVID, M. F. L. Comparing sugarcane fields and forest fragments: the effect of disturbance on soil physical properties and nematode assemblages. **Soil Use and Management**, v. 1, p. 1-11, 2015.

CARDOSO, M. O.; PEDROSA, E.M.R.; ROLIM, M.M.; SILVA; Ê. F. F.; BARROS, P. A. Effects of soil mechanical resistance on nematode community structure under conventional sugarcane and remaining of Atlantic Forest. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 179, p. 1-17, 2012.

CARDOSO, M. S. O. **Avaliação da qualidade do solo cultivado com cana-de-açúcar e de fragmentos de floresta atlântica por meio de índices ecológicos e atividade metabólica de nematoides**. 2014. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2014.

CARDOSO, M. S. O.; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; OLIVEIRA, L. S. C.; SANTOS, A. N. Relationship between nematode assemblages and physical properties across land use types. **Tropical plantpathology**, v. 41, p. 107-114, 2016.

CARMO, D. L., SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1211-1220, 2012.

CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 533-535, 2002.

CARVALHO, A. J. A.; SOUZA, E. H.; MARQUES, C. T. S.; GAMA, E. V. S.; NACIF, P. G. S. Caracterização física dos solos dos quintais agroflorestais e cultivos monotípicos na região de Amargosa, Bahia. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, p. 941-944. 2007.

CARVALHO, J. F.; MONTENEGRO, A. A. A.; SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Produtividade do repolho utilizando cobertura morta e diferentes intervalos de irrigação com água moderadamente salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 256-263, 2011.

CEDDIA, M. B.; VILLELA, A. L. O.; PINHEIRO, É. F. M.; WENDROTH, O. Spatial variability of soil carbon stock in the Urucu riverbasin, Central Amazon-Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 526, p. 58, 2015.

CERRI, C. C.; MOREIRA, C. S.; ALVES, P. A.; TOLEDO, F. H. R. B.; CASTIGIONI, B. A.; GABRIEL RODRIGUES, A. A.; CERRI, D. G. P.; CERRI, C. E. P.; TEIXEIRA, A. A.; CANDIANO, C. A. C.; REIS, M. R.; D'ALESSANDRO, S. C.; TURELLO, L.

Estoques de carbono e nitrogênio no solo devido à mudança do uso da terra em áreas de cultivo de café em Minas Gerais. **Coffee Science**, v. 12, p. 30 - 41, 2017.

CHAKRABORTY, D.;NAGARAJAN, S; AGGARWAL, P.; GUPTA, V.K.; TOMAR, R.K.; GARG R.N.; SAHOO, R.N.; SARKAR, A.; CHOPRA, U.K.; SARMA, K.S.S.; KALRA N. Effect of mulching on soil and plant water status, and the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a semi-arid environment. **Agricultural Water Management**, v. 95, p. 1323-1334, 2008.

CHEN, G.; WEIL, R.R. Penetration of cover crop roots through compacted soils. **Plant Soil**, v. 331, p. 31-43, 2010.

CONCEIÇÃO, P.C.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil & Tillage Research**, v. 129, p. 40-47, 2013.

CUNHA, J. M.; GAIO, D. C.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; SILVA, D. M. P.; LIMA, ALAN, F. L. Atributos físicos e estoque de carbono do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica da Amazônia. **Revista Ambiente e Água**, v 12, p. 264-281, 2017.

DANIELESCU, S.; MACQUARRIE, K. T. B.; FAUX, R. N. The integration of thermal infrared imaging, discharge measurements and numerical simulation to quantify the relative contributions of freshwater inflows to small estuaries in Atlantic Canada. **Hydrological Processes**, v. 23, p. 2847–2859, 2009.

DOMENICO, M.; LINA, C.; FRANCESCA, B. Sustainable Crops for Food Security: Moringa (*Moringa oleifera* Lam.). Reference Module in Food Science. 2018

DOORENBOS, J., KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome: FAO, Irrigation and Drainage Paper, 33. 1986.

DURIGAN, G. Técnicas silviculturais aplicadas à restauração de ecossistemas. In: I Simpósio sobre restauração ecológica de ecossistemas naturais. Anais. Piracicaba, SP, 1999.

DUYCK, P. F.; DORTEL, E.; TIXIER, P.; VINATIER, F.; LOUBANA, P. M.; CHABRIER, C.; QUÉNÉHERVÉ, P. Niche partitioning based on soil type and climate at the landscape scale in a community of plant-feeding nematodes. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 44, p. 49-55, 2012.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, p. 212, 2011.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Utilização da Casca de Coco como Substrato Agrícola. 1. ed. 2002, 22 p.

ELLERT, B.H.; BETTANY, J.R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 75, p. 529-538, 1995.

FRANZLUEBBERS, A. J.; SCHOEMBERG, H. H.; ENDALE, D. M. Surface-soil responses to paraplowing of long-term no-tillage cropland in the Southern Piedmont USA. **Soil and Tillage Research**, v. 96, p. 303-315, 2007.

FALOWO, A. B.; MUKUMBO, F. E.; IDAMOKORO, E. M.; LORENZO, J. M.; AFOLAYAN, A. J.; MUCHENJE, V. Multi-functional application of *Moringa oleifera* Lam. Innutrition and animal food products: A review. **Food Research International**, v. 106, p. 317-334. 2018

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

FONTES JÚNIOR, R. V. P.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, T. E. M. Estabilidade temporal da potenciometria e da salinidade em vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 16, p. 1188–1197, 2012.

FREITAS, W. A.; CARVALHO, J. A.; BRAGA JR., R. A.; ANDRADE, M. J. B. Manejo da irrigação utilizando sensor da umidade do solo alternativo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 268-274, 2012.

GASPARIM, E.; RICIERI, R. P.; SILVA, S. L.; GNOATTO, R. D. E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 27, p. 107-115, 2005.

GRISI, B. M. Método químico de medição de respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. **Ciência e Cultura**, v. 30, p. 82-88, 1978.

GUALBERTO, A. F.; FERRARI, G. M.; ABREU, K. M. P.; PRETO, B. L.; FERRARI, J. L. Características, propriedades e potencialidades da moringa (*Moringa oleifera* Lam.): Aspectos agroecológicos. **Revista Verde**, v. 9, p. 19 - 25, 2014.

GUO, Y.; HUANG, J.; SHI, Z.; LI, H. Mapping spatial variability of soil salinity in a coastal paddy field based on electromagnetic sensors. **PloS one**, v. 10, 2015.

GUTIÉRREZ, CARMEN.; FERNÁNDEZ, C.; ESCUER, M.; CAMPOS-HERRERA, R.; RODRÍGUEZ, M. E. B.; CARBONELL, G.; MARTÍN, J. A. R. Effect of soil properties, heavy metals and emerging contaminants in the soil nematodes diversity. **Environmental Pollution**. v. 13, p. 184-194, 2016.

HOAGLIN, D. C.; MOSTELLER, F.; TUKEY, J. W. Análise exploratória de dados: Técnicas robustas. Lisboa: Edições Salamandra. 1992. 446p.

HODSON, A. K.; FERRIS, H.; HOLLANDER, A. D.; JACKSON, L. E. Nematode food webs associated with native perennial plant species and soil nutrient pools in California riparian oak woodlands. **Geoderma**, v. 228- 229, p. 182-191, 2014.

HU, Y.; XIANG, D.; VERESOGLOU, S. D.; CHEN, F.; CHEN, Y.; HAO, Z.; ZHANG, X.; CHEN B.; Soil organic carbon and soil structure are driving microbial abundance and community composition across the arid and semi-arid grasslands in northern China. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 77, p. 51-57, 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Recife, 2018. Disponível em: https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm. Acesso em: 10 de abril de 2019.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, v. 48, p. 692, 1964.

JESUS, A. R.; MARQUES, N. S.; SALVI, E. J. N. R.; TUYUTY, P. L. M.; PEREIRA, S. A. **Cultivo da Moringa Oleífera**. Dossiê Técnico. Instituto Euvaldo Lodi – IEL / BA. 2013.

JOURNEL, A. G. **Fundamentals of geostatistics in five lessons**. Washington: American Geophysical Union, 1989. 40p.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, v. 17, p. 678-684, 1974.

KONCZ, P., BALOGH, J., PAPP, M., HIDY, D., PINTÉR, K., FÓTI, S., KLUMPP, K., NAGY, Z. Higher soil respiration under mowing than under grazing explained by biomass differences. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 103, p. 201–215, 2015.

KOMARIAH, K.; ITO, K.; SENGE, M.; ADOMAKO, J.A. The influences of organic mulches on soil-moisture content and temperatures: a case study of tapioca wastes application. **Journal of Rainwater Catchment Systems**, v. 14, p. 1-8, 2008.

LAGO, W. N. M.; LACERDA, M. P. C.; NEUMANN, M. R. B. Indicadores de qualidade dos solos na microbacia do Ribeirão Extrema, Distrito Federal: Parte II. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.16, p. 721–729, 2012.

LANDI, S.; PAPINI, R.; D'ERRICO, G.; BRANDI, G.; ROCCHINI, A.; ROVERSI, P. F.; BAZZOFFI, P.; MOCALI, S. Effect of different set-aside management systems on soil nematode community and soil fertility in North, Central and South Italy. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 261, p. 251-260, 2018.

LANDIM, P. M. B. Análise estatística de dados geológicos. 2.ed. São Paulo: UNESP. 2003. 253p.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. 1998. Numerical ecology. 2 ed. Elsevier.

LEI, Y.; LUBO, G.; HUAXING, B.; QINGKE, Z.; XIAOYAN, W. Spatiotemporal dynamics of soil moisture in silvopastoral system in the Loess Plateau of west Shanxi province. **Procedia Environmental Sciences**, v. 8, p. 153-160, 2011.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3. Ed. Campinas, 1996, 83p.

LEVI, T.; SHERMAN, C.; PEN-MOURATOV, S.; STEINBERGER, Y. Changes in soil free-living nematode communities and their trophic composition along a climatic gradient. **Open Journal of Ecology**, v. 2, p. 79-89, 2012.

LI, R.; HOU, X.; JIA, Z.; HAN, Q.; REN, X.; YANG, B. Effects on soil temperature, moisture, and maize yield of cultivation with ridge and furrow mulching in the rainfed area of the Loess Plateau, China. **Agricultural Water Management**, v. 116, p. 101-109, 2013.

LIMA, J. L. M. P.; ABRANTES, J. R. C. B. Can infrared thermography be used to estimate soil surface microrelief and rill morphology. **Catena**, v. 113, p. 314-322, 2014a.

LIMA, J. L. M. P.; ABRANTES, J. R. C. B.; SILVA JR, V. P.; MONTENEGRO, A. A. A. Prediction of skin surface soil permeability by infrared thermography: a soil flume experiment. **Quantitative Infrared Thermography Journal**, v. 11, p. 1-9, 2014b.

LIMA, C. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M.; ANDRADE, E. M.; MONTEIRO, A. L. N. Práticas agrícolas no cultivo da mandioca e suas relações com o escoamento superficial, perdas de solo e água. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 697-706, 2015.

LISBOA B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 33-44, 2012.

LIU, F.; ZHANG, J.; WANG, F.; LIANG, L. Response of soil nematode ecological and maturity indexes and faunal analysis to the conservation tillage. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 11, p. 1111-1117, 2013.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Ministério vai recuperar áreas degradadas no MA. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informma/item/15083-minist%C3%A9rio-vai-recuperar-%C3%A1reas-degradadas-no-ma.html>. Acesso em: 15 de setembro de 2018.

MADRONA, G. S.; SERPELLONI, G. B.; VIEIRA, A. M. S.; NISHI, L.; CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R. Study of the effect of saline solution on the extraction of the *Moringa oleifera* seed's active component for water treatment. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 211, p. 409–415. 2010.

MATOS, D.S.S.; PEDROSA, E.M.R.; MICHEREFF, S.J.; PEIXOTO, J.S.; MEDEIROS, J.E.; BARROS, P.A. Nematofauna associada ao cultivo comercial de mamoeiro no estado da Paraíba. **Revista Brasileira Ciência Agrária**. v. 7, p. 614-620, 2012.

MEJÍAS, M.; BALLESTEROS, B. J.; ANTÓN-PACHECO, C.; DOMÍNGUEZ, J. A.; GARCIA-ORELLANA, J.; GARCIA-SOLSONA, E. G.; MASQUÉ, P. Methodological study of submarine groundwater discharge from a karstic aquifer in the Western Mediterranean Sea. **Journal of Hydrology**, v. 464–465, p. 27–40, 2012

MELO, R. O.; MONTENEGRO, A. A. A. Dinâmica temporal da umidade do solo em uma bacia hidrográfica no semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, p. 430 – 441, 2015.

MEEROW, A.W. Growth of two subtropical ornamentals using coir dust (coconut mesocarp pith) as a peat substitute. **Hort Science**, v. 29, p. 1484-1486, 1994.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 30-37, 2006.

MONTENEGRO, A.A.A.; ABRANTES, J.R.C.B.; LIMA, J.L.M.P.; SINGH, V.P.; SANTOS, T.E.M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermitente simulated rainfall. **Catena**, v. 109, p. 139–149, 2013.

MONTENEGRO, S. G. L.; SILVA JUNIOR, J. G.; MONTENEGRO, A. A. A.; CARVALHO, J. F.; ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C. Experimentação e modelagem do avanço de sais no perfil do solo em área cultivada com repolho sob alternativas de manejo de irrigação, no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira Ciência Agrária**, v. 8, p. 148-155, 2013

MOURA, J. A.; GONZAGA, M. I. S.; ANJOS, J. L.; RODRIGUES, A. C. P.; LEÃO, T. D. S.; SANTOS, L. C. O. Respiração basal e relação de estratificação em solo cultivado com citros e tratado com resíduos orgânicos no estado de Sergipe. **Revista Ciências Agrárias**, v. 36, p. 731-746, 2015.

MU, L.; LIANG, Y.; XUE, Q.; CHEN, C.; LIN, X. Using the DNDC model to compare soil organic carbon dynamics under different crop rotation and fertilizer strategies. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 12, p. 265-276, 2014.

MUTETWA, M.; MTAITA T. Effects of mulching and fertilizer sources on growth and yield of onion. **Journal of Global Innovations in Agricultural and Social Sciences**, v. 2, p. 102-106, 2014.

NADEU, E.; GOBIN, A.; FIENER, P.; WESEMAEL, B.; OOST, K. Modelling the impact of agricultural management on soil carbon stocks at the regional scale: the role of lateral fluxes. **Global change biology**, v. 21, p. 3181-3192. 2015.

NASCIMENTO, V. R. G.; BIAGI, J.D.; OLIVEIRA, R. A. Modelagem matemática da secagem convectiva com radiação infravermelha de grãos de *Moringa oleifera*. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 19, p. 686–692, 2015.

NISH, L.; MADRONA, G. S.; VIEIRA, A. M. S.; BASSETTI, F. J.; SILVA, G. F.; BERGAMASCO, R. **Coagulação/Floculação com Sementes de *Moringa oleifera* Lam para Remoção de Cistos de *Giardia* spp. e Oocistos de *Cryptosporidium* spp. da água**. In: Cleaner production initiatives and Challenges for a sustainable world. 3º, São Paulo. Workshop international. 2011.

NUNES, M. U. C.; SANTOS, J. R.; SANTOS, T. C. Tecnologia para Biodegradação da Casca de Coco Seco e de Outros Resíduos do Coqueiro. **Circular Técnica EMBRAPA**, v. 46, p. 65, 2007.

OLIVEIRA, Z. B.; CARLESSO, R.; KNIES, A. E.; MARTINS, J. D. Influência de resíduos vegetais na superfície do solo e de diferentes espaçamentos entre linhas do feijoeiro na temperatura do solo. **Revista Irriga**, v. 20, p. 33-45, 2015.

PAREDES JUNIOR, F. P.; PORTILHO, I. I. R.; MERCANTE, F. M. Atributos microbiológicos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Ciências Agrárias**, v. 36, p. 151-164, 2015.

PARKIN, T. B.; DORAN, J. W.; FRANCO-P-VIZCAÍNO, E. Field and laboratory tests of soil respiration, In: DORAN, J. W.; JONES, A. (Ed.), *Methods for assessing soil quality*, Madison: **Soil Science Society of America**, p 231-245. 1996.

PARQUE, J. J.; JAGDALE, G. B.; CHO, K.; GREWAL, P. S.; HOY, C. W. Spatial association between entomopathogenic and other free-living nematodes and the influence of habitat. **Applied Soil Ecology**, v. 76, p. 1-6, 2014.

PEREIRA, F.S.G. GALVÃO, C. C.; LIMA, V.F.; ROCHA, M. F. A.; SCHULER, A. R. P.; SILVA, V. L.; LIMA FILHO, N. M. The versatility of the *Moringa oleifera* soil in sustainable applications. **OCL**, v. 23, p. 601, 2016

PINHEIRO, L. C.; MONTENEGRO, A. A. A.; LIMA, J. L. M. P. Agronomic variability of the oleaginous plant in the presence and absence mulching in the semiarid. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 7, p. 378-388, 2017.

QIAN, X.; GU, J.; PAN, H.; ZHANG, K.; SUN, W.; WANG, X.; GAO, H. Effects of living mulches on the soil nutrient contents, enzyme activities, and bacterial community diversities of apple orchard soils. **European Journal of Soil Biology**, v. 70, p. 23-30, 2015.

ROBERTSON, G. P. **Geostatistics for the environmental sciences – GS+ User's Guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 152p. 1998.

ROSA, M. F.; SANTOS, F. J. S.; TELES, A. A. M.; ABREU, F.A.P.; CORREIA, D.; ARAÚJO, F.B. S.; NORÕES, E.R.V. Caracterização do pó da casca do coco usado como substrato agrícola. **Comunicado Técnico Embrapa Agroindustrial Tropical**, n.54, p.1-6, 2001.

ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Estoque de carbono e atributos físicos de um Latossolo em cronosequencia sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 252-257, 2015.

SALAHHELDEEN, M.; AROUA, M. K.; MARIOD, A. A.; CHENG, S. F.; ABDELRAHMAN, M. A. Anevaluation of Moringa peregrina seeds as a source for bio-fuel. **Industrial Crops and Products**. v. 61, p. 49–61, 2014.

Salles, H. O.; Braga, A. C. L.; Nascimento, M. T. S. C.; Sousa, A. M. P.; Lima, A. R.; Vieira, L. S.; A. Cavalcante, C. R.; Egito, A. S.; Andrade, L. B. S. Lectin, hemolysin and protease inhibitors in seed fractions with ovicidal activity against *Haemonchus contortus*. **Brazilian journal of veterinary parasitology**, v. 23, p. 136–143, 2014.

SÁ, J. C. D. M.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P. R.; ROSA, J. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping

systems in Oxisols of subtropical and tropical Agro-ecoregions in Brazil. **Land degradation & development**, v. 26, p. 531–543. 2015.

SÁ, J.C.D.M.; TIVET, F.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D.C.; DOS SANTOS, J.Z.; DOS SANTOS, J.B. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 136, p. 38-50. 2014.

SÁNCHEZ-MORENO, S.; CANO, M.; LÓPEZ-PÉREZ, A.; BENAYAS J. M. R. Microfaunal soil food webs in Mediterranean semiarid agroecosystems. Does organic management improve soil health. **Applied Soil Ecology**, v. 125, p. 138-147, 2018.

SANTOS, J.W.; GHEYI, H.R.; **Estatística experimental aplicada: tópicos de engenharia agrícola e agrônômica**. Campina Grande: Ed. Marcone, p. 213, 2003.

SANTOS, A. R. F. **Desenvolvimento inicial de *Moringa oleifera* Lam. sob condições de estresse**. 2010. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistema) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão. 2010.

SANTOS, T. E. M; SILVA, D .D.; MONTENEGRO, A. A. A. Temporal variability of soil water content under different surface conditions in the semiarid region of the Pernambuco State. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1733-1741, 2010.

SANTOS, C. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, M. A. L.; PEDROSA, E. M. R. Evapotranspiration and crop coefficients of *Moringa oleifera* under semi-arid conditions in Pernambuco. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 21, p. 840-845, 2017.

SANTOS, D.; SOUZA, E.G.; NÓBREGA, L. H. P.; BAZZI, C. L.; GONÇALVES JÚNIOR, A. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho após cultivo de soja. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 16, p. 843–848, 2012a.

SANTOS, E. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; PEDROSA, E. M. R.; SILVA, Ê. F.F. Crescimento e produção de repolho sob diferentes adubações na presença e ausência de cobertura morta em agricultura familiar. **Revista Irriga**, v.21, p.74-89, 2016.

SANTOS, K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; ALMEIDA, B. G.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANDRADE, T. S.; FONTES JÚNIOR, R. V. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 16, p. 828–835, 2012b.

SANTOS, T. E. M. DOS; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, D. D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 15, p. 670–679, 2011.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; PEDROSA, M. E. R. Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semiárido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 217–225, 2009.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, E. F. F.; LIMA NETO, J. A. Perdas de carbono orgânico, potássio e solo em Neossolo Flúvico sob diferentes sistemas de manejo no semiárido. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 2, p. 143-149, 2007.

SANTOS, W. R.; MATOS, D. B.; OLIVEIRA, B. M.; SANTANA, T. M.; SANTANA, M. M.; SILVA, G. F. Estudo do tratamento e clarificação de água com torta de sementes de *Moringa oleifera* Lam. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 13, p. 293-297, 2011.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, D. D. Soil moisture in Pernambuco semiarid using time domain reflectometry (TDR). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** , v. 15, p. 670–679. 2011.

SINKEVIČIENĖ, A.; JODAGIENĖ, D.; PUPALIENĖ, R.; URBONIENĖ, M. The influence of organic mulches on soil properties and crop yield. **Agronomy Research**, v. 7, p. 485-491, 2009.

SILVA, J. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, Ê. F. F.; ANDRADE, C. W. L.; SILVA, J. R. L. Distribuição Espacial da Condutividade Elétrica e Matéria Orgânica em Neossolo Flúvico . **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 764-776, 2013b.

SCHULZ, K.; VOIGT, K.; BEUSCH, C.; ALMEIDA-CORTEZ, J S.; KOWARIK, I.; WALZ, A.; CIERJACKS, A.; Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. **Forest Ecology and Management**. v. 367, p. 62–70, 2016.

SEBEN, G.K.; OLIVEIRA JUNIOR, R.C.; TANABE, C.S.; SILVA, A.D.; MARTINS, I. C. T. Avaliação da temperatura do solo em três profundidades, sobre diferentes coberturas vegetais em Latossolo amarelo muito argiloso do oeste paraense. Canoas-Pará, **Espaço Científico**, v.12, 2011.

SHEN, J. Y.; ZHAO, D. D.; HAN, H. F.; ZHOU, X. B.; LI, Q. Q. Effects of straw mulching on water consumption characteristics and yield of different types of summer maize plants. **Plant, Soil and Environment**, v. 58, p. 161-166, 2012.

SILVA, G. F.; SANTANA, M. F. S.; LIMA, A. K. V. O.; BERGAMASCO, R.; PAIVA, P. M. G.; SANT'ANNA, M. C. S.; SERAFINI, M. R.; BERY, C. C. S. Potencialidades da *Moringa oleifera* Lam. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão. v.4, 2018.

SILVA, E. C. A. **Respostas fisiológicas, bioquímicas e enzimáticas em mudas de *Moringa oleifera* Lam. submetidas a estresses abióticos.** 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2013.

SILVA, J. R. L. **Investigação da dinâmica dos processos hidrológicos e sedimentológicos em região Semiárida, Pesqueira- PE.** 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Recife, PE- Brasil, 2015.

SILVA, J. R. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTEIRO, A. L. N.; SILVA JUNIOR, V. P. Modelagem da dinâmica de umidade do solo em diferentes condições de cobertura no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira Ciência Agrária**, v. 10, p. 293-303, 2015.

SILVEIRA, M.C.; ZIMMER, T.; MOREIRA, V.S.; ROBERTI, D.R. Estimativa do fluxo de calor no solo para diferentes profundidades. **Revista Ciência e Natura**, p. 239 – 241, 2013.

SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S.; SILVA, C. A Matéria orgânica em solos de

áreas degradadas. In: SILVA, L. D., CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. D. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**, v. 2, p. 495-524, 2008.

SOUSA, E. Moringa. In: Enciclopédia Luso-Brasileira da Cultura, Edição Século XXI Volume XX. Braga: Editorial Verbo, 2001.

SOUSA, F. P.; FERREIRA, T. O.; MENDONÇA, E. S.; ROMERO, R. E.; OLIVEIRA, J. G. B. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soil under going desertification. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 148, p. 11-21, 2012.

SOUZA, Z. M.; CAMPOS, M. C. C.; CAVALCANTE, I. H. L.; MARQUES JÚNIOR, J.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Revista Ciência Rural**, v.36, p.128-134, 2006.

SOUZA; E.R; MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.; MATOS, J.A. Temporal stability of soil moisture in irrigated carrot crops in Northeast Brazil. **Agricultural Water Management**, v.99, p.26-32, 2011.

SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A. FREIRE, M. B. G. S. Evolução e variabilidade espacial da salinidade em Neossolo Flúvico cultivado com cenoura sob irrigação, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 584-592, 2008.

SOUZA, M. D. Desenvolvimento e Utilização de um Simulador de Chuvas para Estudos de Atributos Físicos e Químicos do Solo Relacionados a Impactos Ambientais. Jaguariúna, EMBRAPA. P. 18, 2004.

STEVNBAK, K.; MARALDO, K.; GEORGIEVA, S.; BJORNLUND, L.; BEIER, C.; SCHMIDT, I. K.; CHRISTENSEN, S. Supression of soil decomposers and promotion of long-lived, root herbivorous nematodes by climate change. **European Journal of Soil Biology**, v. 52, p. 1-7, 2012.

SURFER. SURFER 8.0: Contouring and 3d surface mapping for scientists and engineers. User's Guide. New York: Golden Software, 2002. 619p.

TARJAN, A. C., R. P ESSER, AND S. L. CHANG. An illustrated key to nematodes found infresh water. **Journal of Water Pollution Control Federation**, v. 49, p. 2318-2337, 1977.

Tayo, G. M.; Poné, J. W.; Komtangi, M.C.; Yondo, J.; Ngangout, A. M.; Mbida, M. Anthelmintic activity of *Moringa oleifera* leaf extracts evaluated in vitro on four developmental stages of *Haemonchus Contortus* from goats. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, p. 1702–1710, 2014.

TOMAZINE, M. D.; FERRAZ, L. C. C. B.; MONTEIRO, A. R. Estrutura trófica e índice de maturidade de comunidade de nematoides em áreas contíguas de vegetação natural e submetidas a diferentes tipos de uso agrícola. **Nematologia Brasileira**, v. 32, p. 220-230, 2008.

VASCONCELOS, M. C. *Moringa oleifera* Lam.: aspectos morfológicos, fisiológicos e cultivo em gradiente de espaçamento. 2013. 65f. Dissertação (mestrado em Agroecossistemas). Universidade Federal de Sergipe, 2013.

VAUCLIN, M.; VIEIRA, S. R.; VACHAUD, G.; NIELSEN, D. R. The use of cokriging with limited field soil observations. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, p. 175-184, 1983.

VICENTE, T. F. S. **Variabilidade espaço-temporal de nematoides e atributos físicos e químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar**. 2016. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2016.

VICENTE, T. F. S. **Estabilidade de agregados em relações de atributos do solo com a nematofauna em áreas de cultivo de cana-de-açúcar**. 2011. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

VICENTE, T. F. S.; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; OLIVEIRA, V. S.; OLIVEIRA, A. K. S.; SOUZA, A. M. P. L. Relações de atributos do solo e estabilidade de agregados em canaviais com e sem vinhaça. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 16, p. 1215–1222, 2012.

VICENTE, T. F.S.; MONTENEGRO, A. A. A.; PEDROSA, E. M. R.; FONTES JÚNIOR, R. V. P.; SILVA, J. S.; TAVARES, UILKA E. Community structure and spatial variability of soil nematodes in an alluvial soil in a semiarid region of Pernambuco state, Brazil. **Nematoda**, v. 2, p.e082015, 2015.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F. et al. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: SBCS, 2000. v. 1, cap.1, p.1-54. 2000.

WANG, B.; WATERS, C.; ORGILL, S.; COWIE, A.; CLARK, A.; LIU, D. L.; SIMPSON, M.; MCGOWEN, I.; SIDES, T. Estimating soil organic carbon stocks using different modelling techniques in the semi-arid rangelands of eastern Australia. **Ecological Indicators**, v. 88, p. 425–438, 2018.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field In: Hillel, D. Applications of soil physics. New York: Academic, p. 319-344, 1980.

WANG, X.; FAN, J.; XING, Y.; XU, G.; WANG, H.; DENG, J.; WANG, Y.; ZHANG, F.; LI, P.; LI, Z. Chapter Three - The Effects of Mulch and Nitrogen Fertilizer on the Soil Environment of Crop Plants. **Advances in Agronomy**, v. 153, p. 121-173, 2019.

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.

YEOMANS, J. O.; BREMMER, J. M. A. rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.

YU, Y.; ZHAO, C.; JIA, H.; NIU, B.; SHENG, Y.; SHI, F. Effects of nitrogen fertilizer, soil temperature and moisture on the soil-surface CO₂ efflux and production in an oasis cotton field in arid northwestern China. **Geoderma**, v. 308, p. 93-103, 2017.

YAN, Q.; DONG, F.; LOU, G.; YANG, F.; LU, J.; LI, F.; ZHANG, J.; LI, J.; DUAN, Z. Alternate row mulching optimizes soil temperature and water conditions and

improves wheat yield in dryland farming. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, p. 2558–2569, 2018.

ZATORRE, N, P, Atributos biológicos do solo como indicadores de qualidade do solo, **Gaia Scientia**, v. 2, p. 9-13, 2008.

ZHAO, H.; WANG, R.Y.; MA, B.L.; XIONG, Y.C.; QIANG, S.C.; WANG C.L. Ridge-furrow with full plastic film mulching improves water use efficiency and tuber yields of potato in a semiarid rainfed ecosystem. **Field Crops Research**, v. 161, p. 137-148, 2014.

ZHONG, S.; ZENG, H.C.; JIN, Z.Q. Influences of different tillage and residue management systems on soil nematode community composition and diversity in the tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 107, p. 234-243, 2017.

ZHU, M.; FENG, Q.; QIN, Y.; CAO, J.; LI, H.; ZHAO, Y. Soil organic carbon as functions of slope aspects and soil depths in a semiarid alpine region of Northwest China. **Catena**. v. 152, p. 94–102, 2017.

ZUCCO, G.; BROCCA, A.; MORAMARCO, T.; MOR BIDEELLI, R. Influence of land use on soil moisture spatial–temporal variability and monitoring. **Journal of Hydrology**, v. 516, p. 193-199, 2014.

Agronomic variability of the oleaginous plant in the presence and absence mulching in the semiarid

Liliane C. Pinheiro^{*}, Abelardo A. A. Montenegro^{**}, João L. M. P. de Lima^{***}

^{*} Doctoral student in Agricultural Engineering; Federal Rural University of Pernambuco – UFRPE, Av. D. Manoel de Medeiros, s/n. Dois Irmãos, Recife – PE - Brazil. Email: lilianecp@yahoo.com.br (Corresponding author)

^{**} Professor; Department of Agricultural Engineering; Federal Rural University of Pernambuco - UFRPE. Email: abelardomontenegro666@gmail.com

^{***} Professor; Department of Civil Engineering, Faculty of Science and Technology of the University of Coimbra (FCTUC)

Received 13 June 2017; accepted 30 October 2017

Abstract

Spatial variability characterization is important to identify areas with different potential for crop production. The objective of the present study is to evaluate the impact of presence and absence of mulching, using spatial variability in height and diameter of unconventional oilseed crop (*Moringa oleifera* Lam.), in an alluvial valley in the semiarid of Pernambuco State. The study was carried out at the Irrigated Agriculture Station of Parnamirim (EAIP), Advanced Unit of the Federal Rural University of Pernambuco. Two neighboring irrigated areas were selected, an area containing vegetative conservation practice using coconut dust as mulching (PM), with density is 8 t. ha⁻¹, and another area with mulching (AM). The variables plant height and stem diameter were submitted to descriptive statistical analysis, semivariogram adjustment and analysis of variance for the samplings, besides the range measurement (a). The average values for both variables height and stem diameter with PM presented higher values, relative to the AM. The degree of spatial dependence showed that there is a strong dependence on plant height in both treatments. In general, the use of conservation practice with the application of mulching has promoted agronomic improvement, which may led more favorable development of the *Moringa oleifera* Lam cropping, which may mitigate climate change effects.

Keywords: Mulching, conservation practice, geostatistics.

1. Introduction

The knowledge of the spatial variability contributes to the proper and precise management of the soil, since it allows identifying zones that require different management, reducing

environmental impacts and increasing the efficiency of the crops (Santos et al., 2012). Geostatistics is a technique that allows the characterization of spatial variability using kriging

and co-kriging methods for mapping, thus improving the understanding of eco-geomorphological variables.

In this context, a number of studies have been intensified in recent years by several researchers (Fontes Júnior et al., 2012; Montenegro et al., 2013; Silva et al., 2014; Ceddia et al., 2015; Melo and Montenegro, 2015; Almeida et al., 2016). For these researchers, studies related to the variability of chemical and physical attributes are important tools to identify areas with greater ability for crops, for the management of groundwater resources, and for proper soil management.

Conservation practices promote improved soil quality and can contribute to mitigating climate change (Lal, 2011). The use of mulching in the soil is considered a vegetative conservation practice, because it has both agronomic and environmental preservation advantages, recommended in the semiarid regions by reducing soil water losses, surface erosion, and contribution to improving crop performance.

The presence of vegetation cover on the soil surface provides several benefits to the agroecosystem, for enabling the reduction of weed infestation, control the temperature changes by decreasing it, increase retention of soil moisture, to decrease nutrient leaching in the soil profile (Rodrigues et al., 2009; Almeida et al., 2015) increase organic matter and improve chemical characteristics, physical and biological soil properties (Lima et al., 2008). In addition, mulching is capable of increasing water availability (Montenegro et al., 2013), with direct impact on the cycling of nutrients, and is considered an important activity in the sustainability of agricultural systems for the optimization of environmental resources (Chagas et al., 2007), and recommended for semiarid regions (Borges et al., 2014).

Studies on plant cover on the soil surface have been conducted by several researchers (Carvalho et al., 2011; Santos et al., 2011; Shen et al., 2012; Montenegro et al., 2013; Borges, 2014; Abrantes et al., 2015), in order to scientifically validate agroecological practices already widely

used in the semiarid. For these scientists, the use of mulching has in fact offered several benefits, among which: increased soil moisture, protection against the direct impact of rain drops, reduction of runoff and water erosion, reduction of soil temperature and lower weed incidence, with increased profitability. Montenegro et al. (2013) investigated the influence of two mulching densities (2 t.ha⁻¹ and 4 t.ha⁻¹) on surface runoff, soil wetting, and soil warming control.

Borges et al. (2014) evaluated the effects of different types of coverage on the maintenance of soil moisture, under the condition of natural rainfall, as well as the agronomic characteristics of maize (*Zea mays* L.) under rainfed conditions, and observed that the treatments with mulch contributed significantly to the increase of soil moisture, increasing the infiltration process and the use of rainwater, as well as reducing evaporation loss.

Considering the concept of the agroecosystem, it is considered interesting for the semiarid region of the Northeast to use plants tolerant or resistant to the edaphoclimatic conditions of the region. Oilseeds can be produced at low cost, even in areas that are considered to be less productive, with the possibility of generating employment and income in the field, while also allowing them to take advantage of biodiesel production, which is a source of clean and renewable energy.

Moringa oleifera Lam. is considered an arboreal species that presents high adaptability to climatic conditions and to arid soils (Olson and Fahey, 2011), typical of Brazilian northeastern region (Gualberto et al., 2014). Due to its diverse uses (nutritional, industrial and medicinal), the moringa culture has been disseminated throughout the semiarid region, making it even more attractive, because it is of low production cost and high yield (Silva, 2013). In addition, because it is a perennial crop, it contributes to the maintenance of carbon stocks in the soil, which are released into the atmosphere as a consequence of plowing practices used in short cycle crops.

The objective of this study was to evaluate the impact of the presence and absence of

mulching on the height and diameter of non-conventional perennial oilseeds (*Moringa oleifera* Lam.), characterizing and evaluating the spatial

variability of the crops in an alluvial valley in the semiarid of Pernambuco.

2. Materials and methods

The study was carried out at the Parnamirim Irrigated Agriculture Station (EAIP), Advanced Campus of the Federal Rural University of Pernambuco, located in the alluvial valley of the Brígida River, a tributary of the São Francisco River, downstream of the Fomento Dam, at coordinates 8°05'08" S and 39°34'27" W, located in the municipality of Parnamirim, in the Sertão of Pernambuco (Figure 1).

The region has a tropical semi-arid BShw climate, with annual average rainfall of 515.20 mm in 2011 (ANA, 2010, APAC, 2011), rainy season beginning in November and ending in April, average yearly temperature is 26.0°C. Contains as a biome the Caatinga, predominant soil Argiloso / stony, little fertile with risk of salinization.



Figure 1 - Map of Pernambuco State, with the location of the municipality of Parnamirim, the Entremontes and Chapéu reservoirs, and the UFRPE Unit. Moringa was established in the A3 area.

2.1 Climatic data

The site meteorological data were acquired from a Campbell Scientific GSW100 Agrometeorological Automatic Station, equipped with sensors and accessories needed to determine reference evapotranspiration (ET_o). Data records were from March to June 2017.

The Penman-Monteith method was used to estimate the ET_o of the site (equation-1). According to Allen et al., (1998) the Penman-Monteith method parameterized by FAO is considered a standard empirical method to estimate ET_o.

$$ET_o = \frac{0,4080\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} v_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34.v_2)} \quad (01)$$

Where:

ET_o is the reference evapotranspiration in mm.dia⁻¹; R_n is the total net radiation of the lawn in MJ m⁻².d⁻¹; G is the soil heat flux density in MJ

m⁻².d⁻¹; T_{med} is the average daily air temperature in °C; v₂ is the average daily wind speed at 2 m in m.s⁻¹; s is the vapor saturation pressure in kPa; a is the partial vapor pressure, kPa; Δ - slope of the vapor pressure curve in kPa C⁻¹; γ is the psychrometric coefficient, kPa C⁻¹.

2.2 Conducting the experiment

Two neighboring irrigated areas were selected, an area containing vegetation conservation practice, using coconut powder (PM) as mulching, whose density was 8 t.ha⁻¹, according to Montenegro et al. (2013), and another area with absence of mulching (AM). In both areas, organic

fertilization (goat manure) with density of 15 t.ha⁻¹ was applied, according to Bakkeet al. (2010). In each area, 36 plants were evaluated, totalling 72 plants. The plants are arranged in regular grid of 3 m x 3 m (Figure 2).

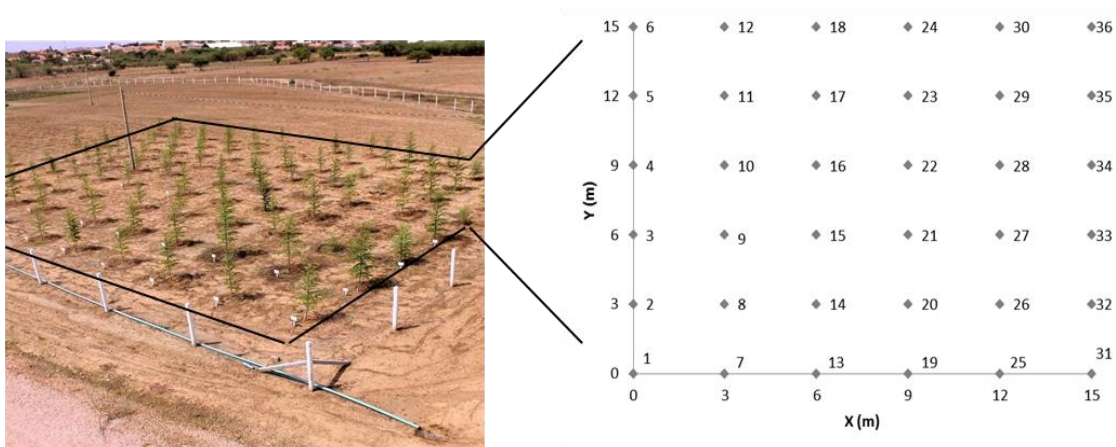


Figure 2. Scheme of the sampling mesh for areas with presence of mulching (PM) and absence of mulching (AM).

The soil of the study area is characterized as a Flavic Neosol with a clay loam texture. Sand, silt and clay percentages are, respectively, 39.04%, 43.9%, 17.06%.

2.3 Plant Phenological Analyzes

To estimate the effects of soil mulching application on the Moringa crop, after 324 days of transplanting the following variables were

evaluated: plant height and stem diameter. The stem diameter (mm) was determined in the plant's neck at a height of approximately 15 cm, using a digital reading pachymeter. According to Benincasa (2003), the plant height (cm) corresponds to the distance between the base of the stem or colon and the apex of it; in intact plants the soil surface is considered as the lower limit of the length.

2.4 Descriptive statistics

The parameters were submitted to descriptive statistics to determine the mean, median, standard deviation, maximum and minimum values, coefficients of asymmetry, kurtosis and coefficient of variation. The dispersion and distribution of variables were analyzed by Kolmogorov-Smirnov (KS) normality tests at a 5% probability level.

The variability of the variables was classified by the coefficient of variation, according to Warrick and Nielsen (1980), where $CV \leq 12\%$ (low); $12 \leq CV \leq 62$ (mean) and $CV \geq 62\%$ (high).

2.5 Evaluation of spatial dependence and indicative kriging

The spatial dependence analysis was performed using the geostatistics, as described by Vieira (2000) and the semivariogram adjustment. Based on the stationarity hypothesis, semivariogram was calculated through the experimental semivariances $\gamma(h)$, estimated by equation 2:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

Where:

$\gamma(h)$ are the semivariance and $N(h)$ is the number of pairs at each distance h . $Z(x_i)$ and $Z(x_i + h)$ are estimates separated by a log distance h .

Adjustments of the mathematical models and definition of the parameters for

semivariograms were performed: a) nugget effect (C_0); b) extent of spatial dependence (a); c) threshold ($C_0 + C_1$). The gaussian, spherical and exponential models were analyzed, respectively, selecting the one that best represents the experimental spatial variation structure of the variables.

The degree of spatial dependence (GDE) was evaluated according to Cambardella et al. (1994), which is based on the percentage proportion of the nugget effect (C_0) in relation to the level ($C_0 + C_1$), classified as: (a) strong dependence $<25\%$; (b) moderate dependence between 25 and 75% and (c) weak dependence $>75\%$, calculated by equation 3:

$$GDE = \left(\frac{C_0}{C_0 + C} \right) \times 100 \quad (3)$$

For the generation of the spatial maps and visualization of the spatial distribution, Surfer software (SURFER, 2002) was adapted.

2.6 Analysis of variance of uncorrelated variables in space

Analysis of variance was applied to data with at distances greater than those defined by the range. The experimental design was completely randomized, and the treatments were considered based on the areas with PM and AM, with different numbers of repetitions.

According to Vieira (2000), points collected with distance greater than the range (a) of the semivariogram can be analyzed by classical statistics.

3. Results and discussion

Figure 3 shows the temporal behavior of precipitation totals, mean temperature values, as well as monthly reference evapotranspiration in the period from March to June 2017. It is observed that the highest rainfall indexes were concentrated in the months of April (66.30 mm) and March (23.622 mm); while May and June presented the lowest total precipitation, of 18.28 mm and 19.81 mm, respectively. March presented the highest evapotranspiration rate (4.61 mm.d⁻¹).

The values corresponding to the height (HP) and stem diameter (SD) of the Moringa oilseeds were submitted to the descriptive statistics analysis. Table 1 shows the values of the statistical parameters used to describe the distributions of the measured data. The observed data had the coefficients of asymmetry and kurtosis close to zero, showing that the variables present distribution close to Normal, and the CVs presented mean values, according to the criteria of Warrick and Nielsen (1980).

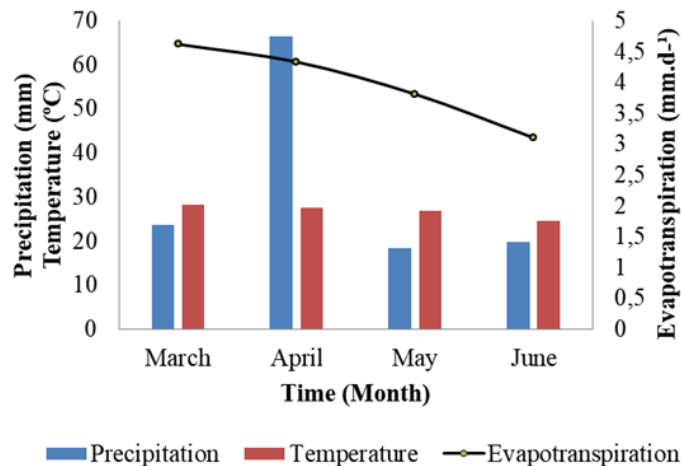


Figure 3. Precipitation values (mm); Temperature (°C) and Evapotranspiration (mm.d⁻¹) of the study site, from March to June 2017.

Table 1. Statistical parameters for the variables plant height (cm) and stem diameter (mm) *Moringa oleifera* Lam under the presence and absence of mulching.

Parameters	¹ PM		² AM	
	³ HP	⁴ SD	³ HP	⁴ SD
Average	294.9	48.2	258.6	43.0
⁵ DP	55.7	8.3	54.5	8.4
⁶ KS 5%	0.23	0.23	0.23	0.23
Maximum error	0.15	0.15	0.12	0.15
Medium	300.0	47.5	270.0	44.0
Minimum	170.0	30.0	160.0	26.0
Maximum	370.0	69.0	340.0	65.0
Amplitude	200.0	39.0	180.0	39.0
⁷ CV%	18.9	17.20	21.08	19.42
Variance	3105.71	68.8	2972.06	70.02
Curtose	-0.19	-0.12	-0.09	0.69
Asymmetry	-0.72	0.23	-0.44	-0.03

¹Presence of mulching, ²Absence of mulching, ³Height of Plant, ⁴Stem diameter, ⁵Standard Deviation, ⁶Kolmogorov Smirnov, ⁷Coefficient and Variation.

Completing the analyzes of the data distributions, the "Box plot" graph presented in Figure 5 was elaborated, allowing to verify the symmetry of the data distributions, in relation to the median; however, it is noted that the readings performed in the treatment with presence of

mulching tend to be higher than the readings performed in the treatment with mulching, and the standard deviation presents a relative similarity between readings. It can be observed that there were discrepant values in the data referring to the diameter of plants with absence of mulching in the soil.

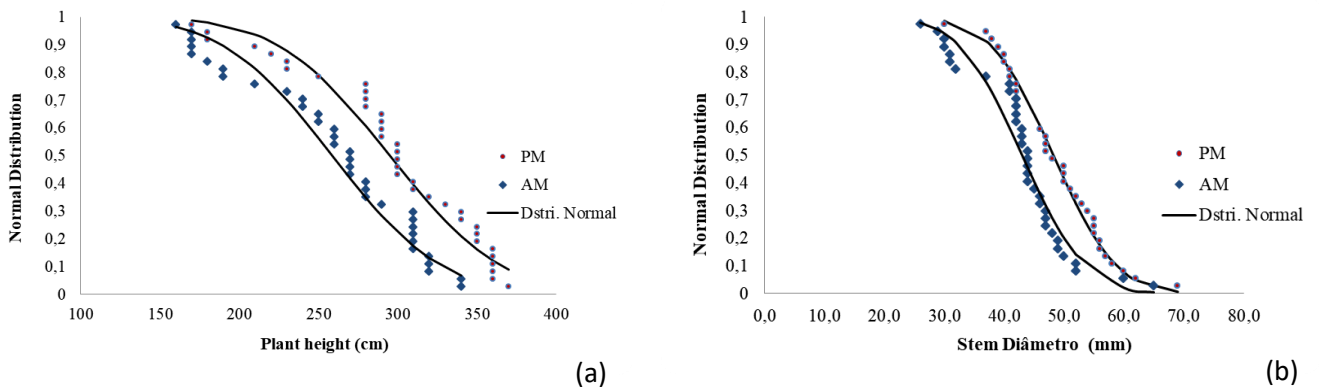


Figure 4. Normal probability graphs for the variables plant height (a) and stem diameter (b) *Moringa oleaginosa* presence and absence of mulching.

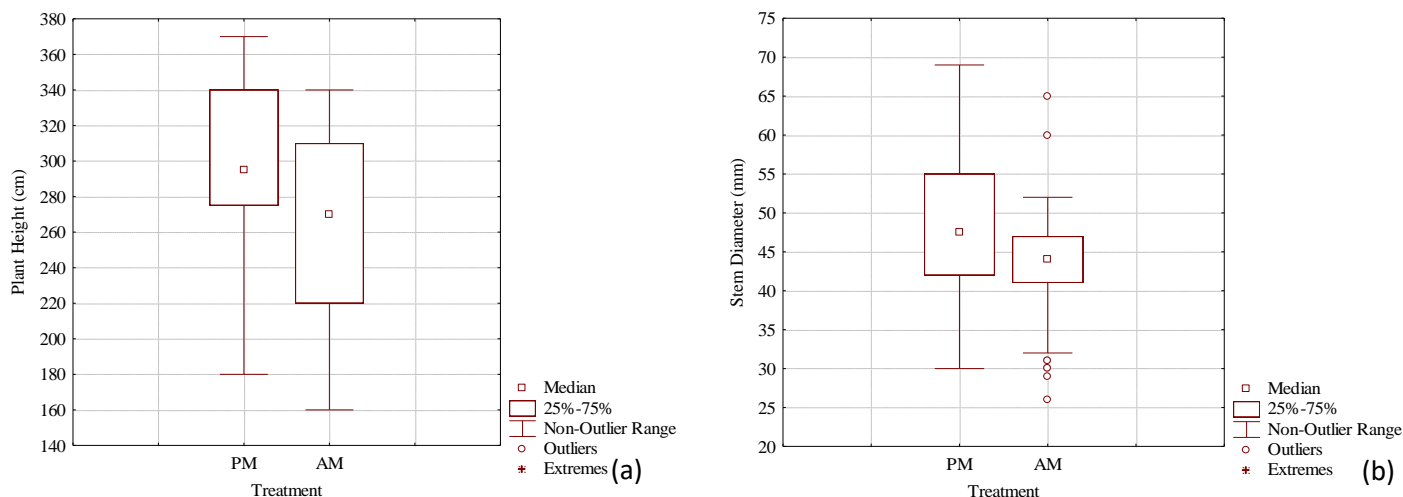


Figure 5. Box-plot of the variable plant height (a) and stem diameter (b) *Moringa oleifera* Lam with presence and absence of mulching.

Table 2 presents the averages of the phenological parameters performed due to the presence and absence of mulching. According to the Tukey test, the averages had a significant effect ($P < 0.05$), thus verifying the influence of mulching on plant growth. Borges et al. (2014) observed that stem height and basal stem diameter in corn (*Zeamays L.*) showed a significant increase with mulching treatment.

The use of mulching benefited the crop development, favoring improvements in soil quality. Paiva and Araújo (2012) verified that the use of mulching prevents excessive loss of soil water by evaporation, thus contributing to

adequate conditions for the development of plants. Montenegro et al. (2013) found that when using mulch, there were reductions in the peak flow, and that high vegetation cover rates resulted in a significant increase in soil moisture. In addition, the soil temperature was optimally regulated under a mulching density of $4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

The mean of the stem diameter variable in the treatments, according to the Tukey test, identified that the soil cover had no significant effect ($P < 0.05$), that is, from the statistical point of view, PM treatment did not differ from AM treatment. Figure 6 shows the means and standard deviations for the analyzed variables.

Table 2. Mean of the phenological parameters of the *Moringa oleifera* Lam oilseeds with presence and absence of mulching.

Treatments	Height (cm)	Diameter (mm)
PM	282.0 a	46.4 a
AM	204.0 b	37.6 a
CV (%)	14.98	14.49

Means followed by equal letters in the columns do not differ among themselves by the Tukey test ($p < 0.05$);

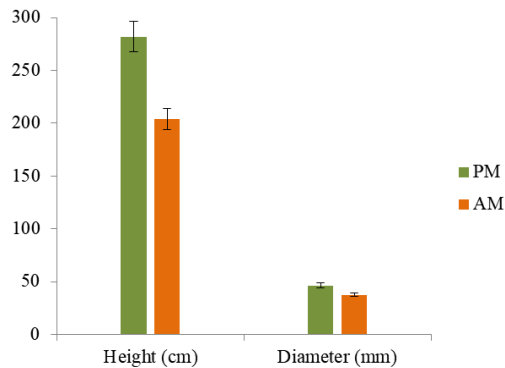


Figure 6. Classical parameters for plant height and *Moringa Lam* oilseeds stem diameter, with presence and absence of mulching.

The variables such as soil moisture and temperature may have influenced the growth of the plant, since when the treatment with absence of mulching was observed, there was a reduction in the values of the parameters. According to Borges et al. (2014), the reduction in plant growth is considered a consequence of a defense mechanism in water stress conditions, because it reduces water losses by plants.

Menezes et al. (2013) point out that evapotranspiration favors the decrease of the water content of the soil in the condition of natural cover in the drought period, making these values lower than the soil moisture in the condition of uncovered soil.

Based on cross-validation, we selected the semivariogram models that best fit the distribution of experimental semivariance (Table 3). The Spherical model was the one that adequately adjusted the variables. The stepped semivariograms can be seen in Figures 7. The degree of spatial dependence (GDE) shows that there is a strong (<25%) dependence on plant height and stem diameter with PM treatment, whereas AM treatments showed moderate and strong dependence, respectively, for height and diameter. That is, the presence of the mulching increased the spatial dependence of the height variable.

Table 3. Models, parameters of experimental semivariogram and cross-validation for plant height (HP) and stem diameter (SD) for *Moringa oleifera* Lam oilseed crop in presence (PM) and absence (AM) of mulching.

	PM		AM	
	HP	SD	HP	SD
C0	0.185	0.162	1778.37	14.79
C0+C	2028.18	60.16	3139,00	66.75
a	6.71	10.10	4.93	4.08
Model	Spherical	Spherical	Spherical	Spherical

GDE (%)	0.01	0.30	56.65	22.15
Classification	FT	FT	MD	FT
Cross-validation parameters				
Average of Errors	-0.20	-0.38	-0.001	-0.015
DP	1.363	2.243	0.997	1.013
R ²	0.30	0.31	0.61	0.30

C0: Nugget effect; C0 + C: Sill; a: Range; GDE: Degree of spatial dependence; R²: Semivariogram adjustment; SD: Reduced error standard deviation; FR: Weak; FT: Strong; MD: Moderate.

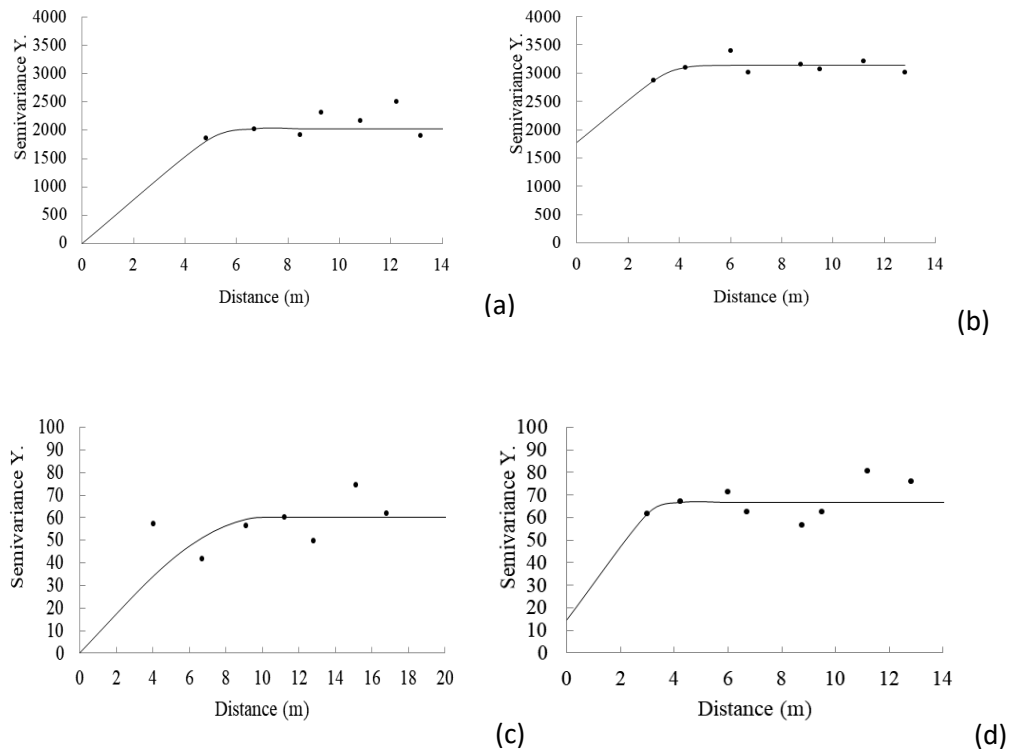


Figure 7. Semivariograms of the parameters: Height of the plant with presence of mulching (a); Plant height with absence of mulching (B); Stem diameter with presence of mulching (C); Stem diameter with of mulching (D).

In order to make it possible to visualize the spatial distribution of parameter values, we generated maps of isolines that are shown in Figure 8. It can be noticed a correlation between plant height and stem diameter, that is, the larger the region that contains more plants, the larger the diameter of the plant, the higher the occurrence of tall plants in the central region of the area, for PM

treatment. The central rectangle highlights the planting regions with less influence of the border, where it is more evident the relevance of the mulching in the variable height of the Moringa. Silva et al. (2010) identified regions with greater growth of the crop using mapping tool of plant height and stem diameter.

Therefore, it was observed that the values obtained from the agronomic characteristics were differentiated due to the presence and absence of the conservation practices, in the treatments analyzed, evidencing that the use of the practice becomes advantageous for the cultivation of *Moringa*, in relation to the height of the plant. According to Silva et al. (2014), who used mulching in the study area as a conservationist practice, they observed that all the growth variables showed a significant difference to

mulching and obtained a better performance in the castor bean growth.

The planting of *Moringa oleifera* Lam. can be considered an alternative for small farmers, in the context of agroecological systems, using conservation practices, and mitigate climate change, by improving soil quality. It also enables the generation of employment and income in the field, using seed production to generate biodiesel, which is a source of clean and renewable energy available to family farmers.

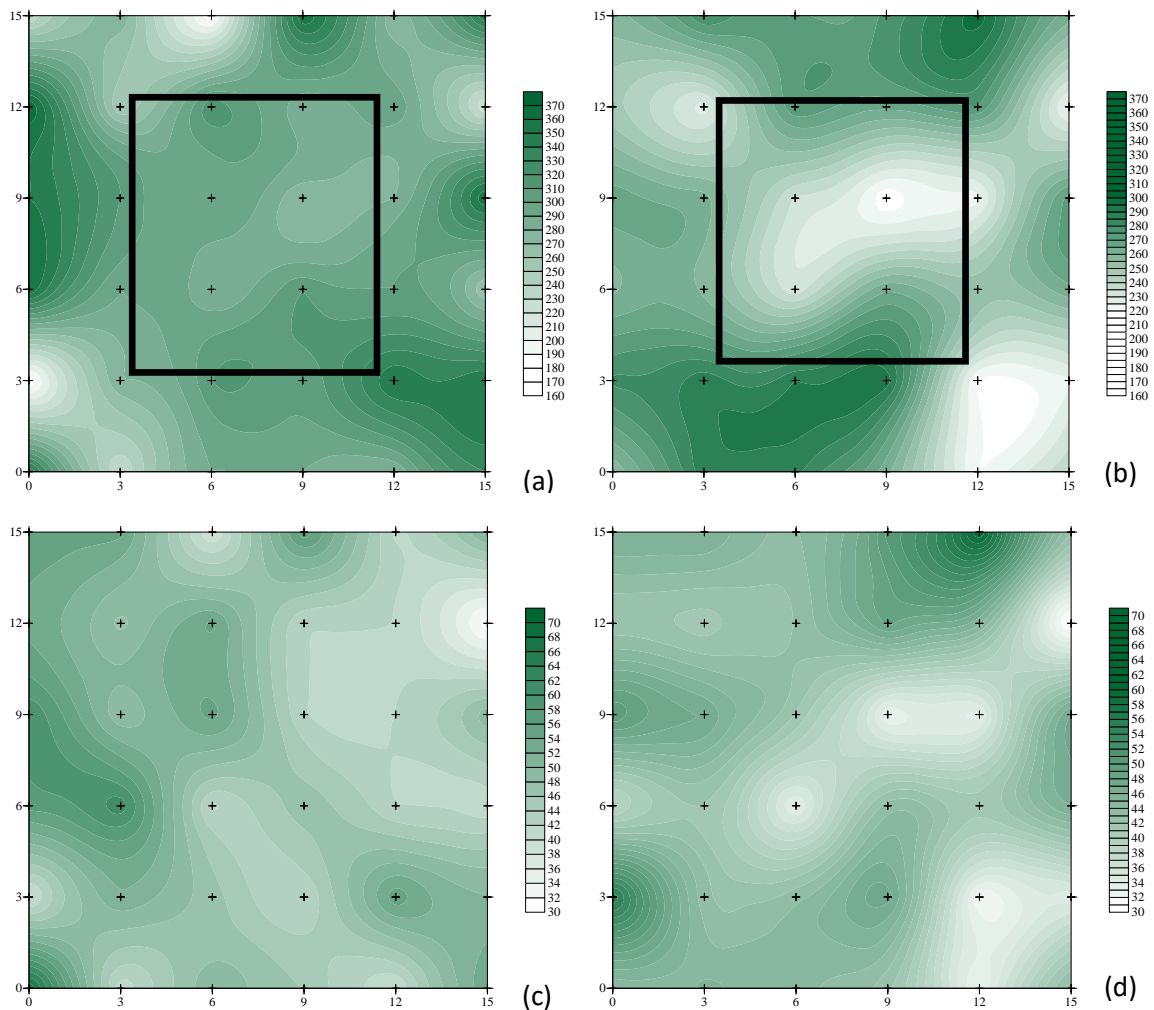


Figure 8. Map for the parameters: Height of the plant with presence of mulching (a); Plant height with absence of mulching (B); Stem diameter with presence of mulching (C); Stem diameter with of mulching (D).

4. Conclusions

- The mean values of the plant height diameters with PM showed the highest values in relation to the AM; There was strong dependence on the heights of plants in both treatments;
- The presence with mulching treatments, both for height and diameter, showed strong spatial dependence;
- Removing the border region, the mulching provided a significant increase in the height of the moringa;
- In general, the use of conservation practice with the application of mulching promoted agronomic improvement, which possibly led to more favorable conditions to the development of the *Moringa oleifera* Lam planting, regarding the height of the plant, helping to mitigate the climatic change impacts.

Acknowledgments

The authors thank the CNPq (PVE-400757 / 2013-3), the Foundation for the Support of Science of the State of Pernambuco (FACEPE) for financial support for studies and the Postgraduate Program in Agricultural Engineering (PGEA) Federal Rural of Pernambuco (UFRPE). Special thanks to the Coordinator of the Experimental Unit of UFRPE (Mr. Eurico Lustosa), and to the technician Edson Abrantes, for the support to carry out this work.

References

- Abrantes, J. R. C. B.; Lima, J. L. M. P.; Montenegro, A. A. A. Desempenho da modelagem cinemática do escoamento superficial para chuvas intermitentes em solos com cobertura morta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.19, n.2, p.166–172, 2015.
- Allen, R. G. et al. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Roma: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56)
- Almeida, D. J. de.; Cavalcante, L. F.; Silva, R. A. R. da.; Araújo, R da C.; Silva, V. B. da.; Malta, A. O. Irrigação de salvação e cobertura do solo no rendimento de graviola 'morada' em safras consecutivas. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, Recife, v.20, n.1, p. 11-16, 2015.
- Almeida, A. Q.; Souza, R. M. S.; Silva, S. M. S.; Oliveira Junior, I. S.; Cavalcante, F. S.; Melo, J. A. S. Space-time dependence of jatropha growth parameters grown in Brazilian semiarid. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 29, n. 2, p. 358 – 366, 2016.
- ANA - Agência Nacional de Águas. *Atlas de Abastecimento Urbano de*

- Água. Brasília, 2010. Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos. Brasília, 2010.
- APAC – Agência Pernambucana de Águas e Climas. Climatologia de Precipitação. Recife, 2012. Boletim Pluviométrico 2011.
- Bakke, I. A.; Souto, J. S.; Souto, P. C.; Bakke, O. A. Características de crescimento e valor forrageiro da moringa (*Moringa oleifera* lam.) submetida a diferentes adubos orgânicos e intervalos de corte. Revista Engenharia Ambiental. Espírito Santo do Pinhal. v.7, n.2, p.133-144, 2010.
- Benincasa, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42p.
- Borges, T. K. S.; Montenegro, A. A. A.; Santos, T. E. M.; Silva, D. D.; Silva Junior, V. P. Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (zeamays l.) em semiárido nordestino. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.38, p1862-1873, 2014.
- Cambardella, C. A.; Moorman, J. M.; Novak, T. B.; Karlen, D. L.; Turco, R. F.; Konopka, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. Soil Science Society of America Journal, v.58, p.1501-1511, 1994.
- Carvalho, J. F.; Montenegro, A.A. A.; Soares, T. M.; Silva, Ê.F.F. ; Montenegro, S. M. G. L.. Produtividade do repolho utilizando cobertura morta e diferentes intervalos de irrigação com água moderadamente salina. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.15, n.3, p.256–263, 2011.
- Ceddia, M. B.; Villela, A. L. O.; Pinheiro, É. F. M.; Wendroth, O. Spatial variability of soil carbon stock in the Urucu river basin, Central Amazon-Brazil. The Science of the Total Environment, v.526, p.58. 2015.
- Chagas, E.; Araújo, A. P.; Teixeira, M. G.; Guerra, J. G. M. Decomposição e liberação de nitrogênio, fósforo e potássio de resíduos da cultura do feijoeiro. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.31, n. 4, p. 723-729, 2007.
- Fontes Júnior, R. V. P.; Montenegro, A. A. A.; Montenegro, S. M. G. L.; Santos, T. E. M. Estabilidade temporal da potenciometria e da salinidade em vale aluvial no semiárido de Pernambuco. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.16, n.11, p.1188–1197, 2012.
- Gualberto, A. F.; Ferrari, G. M.; Abreu, K. M. P.; Preto, B. L.; Ferrari, J. L. Características, propriedades e potencialidades da moringa (*Moringa oleifera* Lam.): Aspectos agroecológicos. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento

- Sustentável, Pombal, v.9, n.5, p.19 - 25, 2014.
- Lal, R. Carbon sequestration in soil in agro-ecosystems. Food Policy, Guildford, v.36, Supplement 1, p.S33-S39, 2011
- Lima, J. L.; Resende, F. V.; Souza, R. B. de; Guimarães, M. O. Adubação com composto de farelos anaeróbico na produção de tomate orgânico cultivado sobre coberturas vivas de amendoim forrageiro e grama batatais. Revista Horticultura Brasileira, Brasília, v.26, n.2, p.191-194, 2008.
- Melo, R. O.; Montenegro, A. A. A. Dinâmica temporal da umidade do solo em uma bacia hidrográfica no semiárido Pernambucano. Revista Brasileira Recursos Hídricos. Porto Alegre, vol. 20 nº.2 p. 430 – 441. 2015
- Menezes, J. A. L.; Santos, T. E. M.; Montenegro, A. A. A.; SILVA, J. R. L. Comportamento temporal da umidade do solo sob Caatinga e solo descoberto na Bacia Experimental do Jatobá, Pernambuco. Water Resources and Irrigation Management, Holanda, v.2, n.1, p.45-51, 2013.
- Montenegro, A.A.A.; Abrantes, J.R.C.B.; Lima, J.L.M.P.; Singh, V.P.; Santos, T.E.M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. Catena, v.109, p.139–149, 2013.
- Olson, M. E.; Fahey, J. W. *Moringa oleifera*: unárbol multiusos para las zonas tropicales secas. Revista Mexicana de Biodiversidad, v.82, n.4, p.1071-1082, 2011.
- Paiva, A.Q.; Araújo, Q.R. Fundamentos do manejo e da conservação dos solos na região produtora de cacau da Bahia. In: VALLE, R.R., ed. Ciência, tecnologia e manejo do cacau. 2.ed. Brasília, Ceplac/CEPEC/SEFIS, 2012. p.115-134.
- Rodrigues, D. S.; Nomura, E. S.; Garcia, V. A.; Coberturas de solo afetando a produção de alface em sistema orgânico. Revista Ceres, Viçosa, v.56, n.3, p. 332-335, 2009.
- Santos, D.; Souza, E.G.; Nóbrega, L. H. P.; Bazzi, C. L.; Gonçalves Júnior, A. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho após cultivo de soja. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.16, n.8, p.843–848, 2012.
- Santos, T. E. M.; Montenegro, A.A.A.; Silva, D. D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). R. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.15, n.7, p.670–679, 2011.
- Shen, J. Y.; Zhao, D. D.; Han, H. F.; Zhou, X. B.; LI, Q. Q. Effects of straw mulching on water

- consumption characteristics and yield of different types of summer maize plants. *Plant, Soil and Environment*, v.58, p.161-166, 2012.
- Silva, E. C. A. Respostas fisiológicas, bioquímicas e enzimáticas em mudas de *Moringa oleifera* Lam. submetidas a estresses abióticos. 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2013.
- Silva, J. J. N.; Montenegro, A. A. A.; Pedrosa, E. M. R.; Beltrão, N. E. M.; Henrique, H. M. Water allocations and mulching in castor bean crops in a semiarid Fluvic Neossol. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 45, n. 3, p. 443-452, 2014.
- Silva, J.J. N.; Montenegro, A. A. A.; Silva, E. F. F.; Fontes Júnior, R. V. P.; Silva, A. P. N. Variabilidade espacial de parâmetros de crescimento da mamoneira e de atributos físico-químicos em Neossolo. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, Campina Grande, v.14, n.9, p.921–931, 2010.
- SURFER.SURFER 8.0: Contouring and 3d surface mapping for scientists and engineers. User's Guide. New York: Golden Software, 619p, 2002.
- Vieira, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F. et al. (Ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: SBCS, 2000. v. 1, cap. 1, p. 1-54.
- Warrick, A. W.; Nielsen, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field In: Hillel, D. *Applications of soil physics*. New York: Academic. p.319-344, 1980.